

3100096008045

**TUGAS AKHIR**  
**OE 1701**

**STUDI EKSPERIMENTAL MENGENAI PENGARUH  
KEKASARAN PERMUKAAN PIPA TERHADAP GAYA  
INERSIA AKIBAT BEBAN GELOMBANG**



RSke  
6218672  
Zae  
S-1  
1996

Disusun Oleh :

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	03-04-96
Terima Dasi	H
No. Agenda Fkp.	6230

**DADAN ZAENUDIN**  
**NRP. 4914300224**

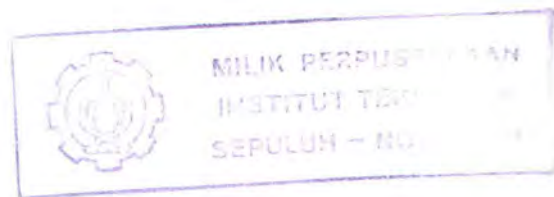
**PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
1996**

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : Studi Eksperimental Mengenai Pengaruh Kekasaran Permukaan Pipa Terhadap Gaya Inersia Akibat Beban Gelombang

Penulis : Dadan Zaenudin

NRP : 4914300224




Surabaya, Maret 1996

Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I

  
Ir. Arief Soeroso, MSc.  
NIP. 130 937 969

Ir. Jusuf Sutomo, MSc  
NIP. 131 287 547

Ketahuiilah, bahwa sesungguhnya kehidupan dunia ini hanyalah permainan dan sesuatu yang melalaikan, perhiasan dan bermegah-megah antara kamu serta berbangga-banggaan tentang banyaknya harta dan anak, seperti hujan yang tanam-tanamannya mengagumkan para petani, kemudian tanaman itu menjadi kering dan kamu lihat warnanya kuning kemudian hancur. Dan di akhirat (nanti) ada azab yang keras dan ampunan dari Allah serta keridhaan-Nya. Dan kehidupan dunia ini tidak lain hanyalah kesenangan yang menipu.  
(Q.S. Al-Hadiid ayat 20)

Ku persembahkan untuk :  
Ayah dan Ibu tercinta, sebagai baktiku padamu  
adik-adikku sebagai suatu tauladan untukmu  
dan sahabat-sahabatku yang  
telah memberi arti dalam hidupku

## ABSTRAK

*Penelitian ini merupakan studi eksperimental untuk mengetahui pengaruh kekasaran permukaan pipa terhadap gaya inersia akibat beban gelombang yang dilakukan di laboratorium hidrodinamika Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Sebagai model silinder digunakan PVC berdiameter 3 DIM (8.89 cm) yang dipasang dengan posisi vertikal, kekasaran permukaan pipa dimodelkan dengan bentuk piramid yang terbuat dari karet dengan empat macam model kekasaran relatif 0-0.1687, percobaan dilakukan dengan empat kasus beban gelombang untuk angka Keulegan Carpenter (KC) 1.07-2.59 dan angka Reynold  $0.1-0.24 \times 10^5$*

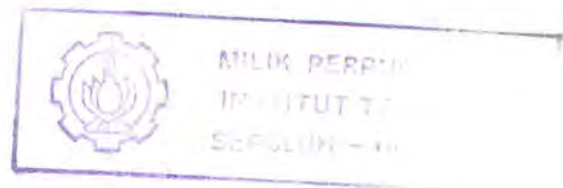
*Hasil percobaan ini menghasilkan harga koefisien inersia ( $C_m$ ) sebesar 1.58-2.4 untuk silinder halus dan 1.45-3.05 untuk silinder kasar. Bila dibandingkan dengan harga  $C_m$  secara teoritis untuk silinder halus kesalahan hasil percobaan ini sebesar ( $\pm$ ) 20 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecenderungan perubahan harga koefisien inersia terhadap perubahan tingkat kekasaran permukaan silinder tidak hanya ditentukan oleh pola kekasaran (kekasaran relatif) tetapi juga oleh angka KC dan Re. Dalam rentang harga KC dan Re tertentu kenaikan angka kekasaran relatif cenderung memperbesar harga  $C_m$ , sementara dalam rentang harga yang lain memberikan pengaruh yang sebaliknya (harga  $C_m$  cenderung turun). Bertambah besarnya garis tengah silinder akibat tumbuhan laut merupakan faktor yang lebih menonjol dalam memberikan efek pada gaya inersia dari pada kekasaran tumbuhan laut itu sendiri.*







# KATA PENGANTAR



*Bismillaahirrahmaanirrahiim,*

Alhamdulillah, atas kehendak Allah jualah penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini, dalam kesempatan ini penulis mengambil judul *Studi Eksperimental Pengaruh Kekasaran Permukaan Pipa Terhadap Gaya Inersia Akibat Beban Gelombang*, suatu judul yang tampaknya cukup panjang dan lama untuk mengucapkannya, tapi ternyata tidak seperti judulnya yang panjang, penulisan tugas akhir ini hanya memerlukan waktu kurang dari semester.

Penulis menyadari, tanpa bantuan dan bimbingan semua pihak tak mungkin rasanya penulis bisa menyelesaikannya secepat itu, oleh karenanya ingin penulis sampaikan ucapan rasa terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah banyak membantu, baik selama mengerjakan tugas akhir ini ataupun selama penulis menempuh studi di Jurusan teknik Kelautan ITS, diantaranya untuk :

1. Ayah dan Ibu serta adik-adikku yang telah memberikan segalanya
2. Ir. Jusuf Sutomo MSc dan Ir. Arief Soeroso MSc, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan meluangkan waktunya demi kesuksesan pengerjaan tugas akhir.
3. Ir. Langgeng Condro, Bapak Tonny, Mas Pur dan karyawan laboratorium hidrodinamika lainnya, yang telah banyak membantu selama proses percobaan.
4. Ir. Handayanu MSc selaku dosen wali penulis, yang telah banyak memberikan bimbingan selama menempuh studi di ITS
5. Ir. Eko Budi Djatmiko MSc, Phd dan Ir Imam Rochani MSc selaku ketua dan sekretaris program studi Teknik Kelautan ITS.
6. Arek-arek '91, khususnya Gathot, Hermas, Vera, Budi, Iwan dan anggota HMST lainnya yang telah banyak meberikan suasana segar dan indah
7. Rekan-rekan di Gebang Lor 36, Ir. Wawan, Musyafa, Edi, Ir. Agus, Ir. Ulil, Mantri, Hadi, Panjul, Henry, Heri, Ir. Darman dan Maheso sempono

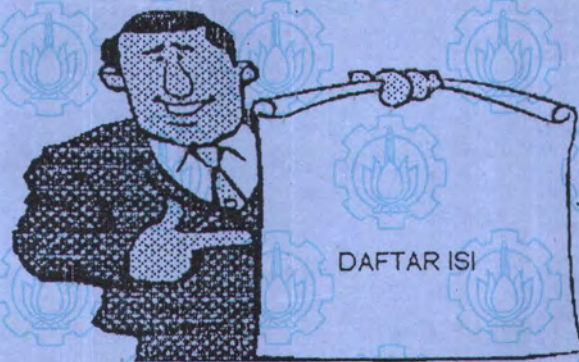
8. Rekan-rekan di Masjid Al Ibrahim Gebang, khususnya Mas Zaenal, Budi, Benny, Idham dan yang lainnya yang telah banyak memberikan semangat.
9. Guru-guruku yang telah banyak memberikan ilmu, KH Nur, H Kholis, Ustadz Nur Masir Akhmid, Ustadz Saanin dan yang lainnya, yang telah banyak memberikan dasar-dasar aqidah bagi penulis
10. Ki Surachman yang banyak memberikan bimbingan dan nasehat
11. Adik-adikku di Teknik Kelautan, diantaranya Alfi, Niken, Retno, Hesti dan yang lainnya, terima kasih atas segalanya
12. Jendral (Purn) Soeharto, selaku ketua Yayasan Supersemar, yang telah memberikan beasiswa selama hampir empat tahun kepada penulis.
13. Euis T. Mintarsih SPd, yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan moral, baik selama kuliah maupun saat mengerjakan tugas akhir, meski akhirnya.....

Penulispun menyadari, meski telah mencurahkan segenap kemampuan yang ada, namun karya ini masih jauh dari sempurna, oleh karenanya saran dan kritik untuk penyempurnaan di masa yang akan datang, sangat penulis harapkan. Semoga sedikit yang bisa penulis buat ini bisa memberikan manfaat bagi yang memerlukannya dan tercatat sebagai suatu amal ibadah.

Surabaya, Medio Maret 1996

**Dadan Zaenudin**





DAFTAR ISI



# DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
 BAB 1. PENDAHULUAN.	 I-1
1.1. Dasar Pemikiran.	I-1
1.2. Perumusan Masalah.	I-7
1.3. Tujuan Penelitian.	I-7
1.4. Batasan Masalah.	I-8
1.5. Sitematika Penulisan	I-8
 BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	 II-1
2.1. Persamaan Morison.	II-1
2.2. Gaya-gaya Dinamis.	II-5
2.3. Beban dan Teori Gelombang	II-5
2.3.1. Beban Gelombang	II-5
2.3.2. Teori Gelombang	II-7
2.4. Region Of Validity	II-12
2.5. Hukum Kesamaan	II-13
2.6. Penelitian-penelitian Terhadap Pengaruh Kekasaran Pada Silinder	II-15

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	III-1
3.1. Studi literatur	III-1
3.2. Persiapan Percobaan	III-2
3.2.1. Peralatan Percobaan.	III-2
3.2.2. Kalibrasi	III-9
3.2.3. Penentuan Syarat Batas	III-12
3.3. Proses Percobaan	III-14
3.4. Analisa Data Hasil Percobaan	III-15
3.5. Pembuatan Laporan Akhir	III-16
 BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	 IV-1
4.1. Hasil	IV-1
4.1.1. Hasil Kalibrasi	IV-1
4.1.2. Hasil Percobaan	IV-2
4.1.3. Hasil Perhitungan	IV-3
4.1.3.1. Hasil Perhitungan Gaya Gelombang	IV-3
4.1.3.2. Hasil Perhitungan Tinggi Gelombang dan Koefisien inersia	IV-4
4.1.3.3. Hasil Perhitungan angka Reynold dan Keulegan Carpenter	IV-6
4.2. Pembahasan	IV-7
4.2.1. Pengaruh Kekasaran Terhadap Gaya Inersia	IV-7
4.2.2. Hubungan Koefisien Inersia dengan angka Reynold	IV-8
4.2.3. Hubungan Koefisien Inersia dengan Kekasaran relatif	IV-12
4.2.4. Hubungan Koefisien Inersia dengan Angka KC	IV-17
4.3. Perbandingan Hasil Pengujian dengna Pengujian Yang telah dipublikasikan	IV-20
4.4. Kelemahan dan Kendala Percobaan	IV-23

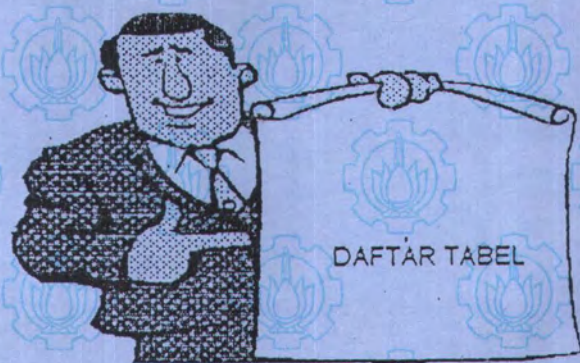
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1. Kesimpulan	V-1
5.2. Saran	V-2

#### DAFTAR PUSTAKA

#### LAMPIRAN :

- Lampiran A : Data-data Hasil Eksperimen
- Lampiran B : Hasil Analisa Data
- Lampiran C : Photo eksperimen



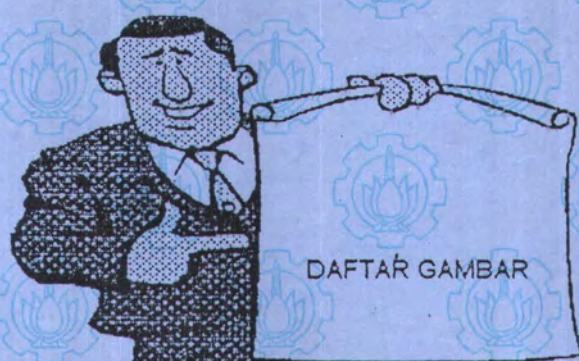


DAFTAR TABEL



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Koefisien inersia dari data OTS (Heidemen, et al)	II-21
Tabel 2.2. Rangkuman penelitian di laboratorium	II-26
Tabel 2.3. Hasil pengamatan di lapangan	II-27
 Tabel 3.1. Urutan proses percobaan	 III-14
 Tabel 4.1. Hasil kalibrasi beban pada pipa uji	 IV-1
Tabel 4.2. Hasil kalibrasi gelombang	IV-2
Tabel 4.3. Nilai rata-rata hasil percobaan	IV-2
Tabel 4.4. Hasil perhitungan gaya gelombang	IV-4
Tabel 4.5. Hasil perhitungan H di kolam, percepatan partikel air dan Cm	IV-5
Tabel 4.6. Hasil perhitungan kecepatan partikel air, Re dan KC	IV-6
Tabel 4.7. Perbandingan dengan beberapa hasil pengujian	IV-22





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sketsa gaya gelombang pada silinder Vertikal berdiameter kecil	II-2
Gambar 2.2.	Sketsa Gelombang Linier	II-8
Gambar 2.3.	Orbit partikel air untuk berbagai variasi kedalaman	II-10
Gambar 2.4.	Region of validity	II-13
Gambar 2.5.	Grafik Cd Silinder Kasar sebagai fungsi angka Reynold	II-17
Gambar 2.6a.	Cd Vs Re untuk silinder kasar, $K=20$	II-19
Gambar 2.6b.	Cm Vs Re untuk silinder kasar, $K=20$	II-19
Gambar 2.6c.	Cd Vs Re untuk silinder kasar, $K=100$	II-20
Gambar 2.6d.	Cm VS Re untuk silinder kasar, $K=100$	II-20
Gambar 2.7.	Nilai rata-rata Cd Vs KC untuk silinder bersih dan kasar	II-21
Gambar 2.8.	Nilai rata-rata Cd, Cm dan Cl Vs KC	II-22
Gambar 2.9.	Koefisien inersia Vs KC untuk silinder Bersih	II-23
Gambar 2.10.	Koefisien drag Vs KC untuk silinder bersih	II-24
Gambar 2.11.	Beberapa hasil pengujian Wolfram dan Theophanatos	II-25
Gambar 3.1.	Sketsa pipa uji	III-3
Gambar 3.2.	Bentuk model kekasaran yang dipakai dalam percobaan	III-5
Gambar 3.3.	Beberapa variasi strain gauge dan koneksinya dengan amplifier	III-7
Gambar 3.4.	Sketsa pipa uji dan peralatan lainnya	III-9
Gambar 3.5.	Sketsa peralatan uji dan peralatan kalibrasi	III-12
Gambar 4.1.	Gaya inersia untuk silinder bersih dan kasar	IV-8
Gambar 4.2.	Koefisien inersia Vs Re untuk silinder bersih	IV-10
Gambar 4.3.	Koefisien inersia Vs Re untuk model 1	IV-10
Gambar 4.4.	Koefisien inersia Vs Re untuk model 2	IV-11

Gambar 4.5.	Koefisien inersia Vs Re untuk model 3	IV-11
Gambar 4.6.	Hubungan koefisien inersia dengan kekasaran relatif untuk H input =4 cm	IV-14
Gambar 4.7.	Hubungan koefisien inersia dengan kekasaran relatif untuk H input = 5 cm	IV-14
Gambar 4.8.	Hubungan koefisien inersia dengan kekasaran relatif untuk H input = 6 cm	IV-15
Gambar 4.9.	Hubungan koefisien inersia dengan kekasaran relatif untuk H input = 8 cm	IV-15
Gambar 4.10.	Hubungan koefisien inersia dengan kekasaran relatif	IV-16
Gambar 4.11.	Hubungan koefisien inersia dengan KC untuk silinder bersih	IV-18
Gambar 4.12.	Hubungan koefisien inersia dengan KC untuk model 1	IV-18
Gambar 4.13.	Hubungan koefisien inersia dengan KC untuk model 2	IV-19
Gambar 4.14.	Hubungan koefisien inersia dengan KC untuk model 3	IV-19
Gambar 4.15.	Perbandingan hasil pengujian dengan hasil Chakrabarti	IV-21





## DAFTAR NOTASI

$a_x$	: Percepatan horisontal partikel air
$a_y$	: Percepatan vertikal partikel air
Bm	: Lebar model
Ca	: Koefisien massa tambah
Cd	: Koefisien drag
Cm	: Koefisien inersia
D	: Diameter pipa
d	: Kedalaman perairan
F	: Gaya total
FD	: Gaya drag
FI	: Gaya inersia
Fn	: Froude number
g	: Percepatan gravitasi = $9.81 \text{ m/det}^2$
H	: Tinggi gelombang
k	: angka gelombang
KC	: angka Keulegan Carpenter
k/D	: Kekasaran relatif
Lm	: Panjang model
Re	: Angka Reynold
s	: Kedalaman yang ditinjau
T	: Priode gelombang
Tm	: Tinggi model
Tp	: Tinggi prototype
u	: Kecepatan partikel air
v	: Kecepatan vertikal partikel air
Vm	: Kecepatan model

$V_p$	: Kecepatan prototype
$\frac{\partial u}{\partial t}$	: Percepatan partikel air
$\eta$	: Profil permukaan air
$\lambda$	: Panjang gelombang
$\pi$	: $\pi = 3.141592$
$\rho$	: Massa jenis air
$\nu$	: Viskositas kinematis
$\nu_m$	: Viskositas kinematis model
$\omega$	: Kecepatan sudut = $2\pi/\lambda$





BAB I  
PENDAHULUAN



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Dasar Pemikiran

Dalam merancang suatu struktur bangunan lepas pantai, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, misalnya kondisi lingkungan tempat struktur bangunan lepas pantai tersebut akan beroperasi, dari kondisi lingkungan yang ada dapat diperkirakan besarnya beban akibat gelombang, angin, arus dan lain-lain yang akan diterima oleh struktur. Hal ini penting untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan selama struktur tersebut beroperasi.

Bagian struktur (bangunan) laut yang berada di *splash zone* dan dibawah air selalu mendapatkan beban hidrodinamis akibat gelombang dan arus, secara alamiah struktur ini juga akan ditemplei *marine growth*. Dari aspek pemeliharaan dan kelaikan struktur, marine growth mempunyai dampak yang merugikan. Untuk bagian struktur *tubular*, misalnya *pile*, dampak yang ditimbulkan oleh marine growth adalah sebagai berikut :

- ♦ Marine growth memperbesar garis tengah pile sehingga memperbesar gaya inersia pada pile akibat gelombang.
- ♦ Marine growth membuat permukaan pile menjadi lebih kasar, sehingga memperbesar gaya drag pada pile, baik akibat gelombang maupun arus.
- ♦ Marine growth dapat memacu proses korosi, terutama di *splash zone* karena:
  - marine growth dapat merusak lapisan (*coating*) pelindung korosi.

- marine growth menyebabkan timbulnya kondisi *anaerobic* yang diperlukan untuk tumbuhnya bakteri yang dapat mengurangi sulfat sehingga menyebabkan timbulnya korosi akibat perbedaan konsentrasi oksigen dengan medan disekitarnya.
- ♦ Marine growth menutup permukaan pile sehingga menyulitkan pemeriksaan rutin bawah air.

Marine growth merupakan persekutuan hewan dan tumbuhan yang tumbuh baik pada struktur alamiah, misalnya batu dan akar mangrove, maupun pada struktur buatan manusia misalnya *piles*, *pontoon* dan lain-lain. Hewan dan tumbuhan yang ambil bagian dalam marine growth adalah organisme yang menempel yang secara alamiah terdapat pada perairan dangkal sepanjang pantai. Perkembangan persekutuan marine growth pada struktur yang terbenam di dalam air tergantung pada kemampuan anggota populasi alamiah setempat untuk hidup pada keadaan baru yang diciptakan oleh manusia<sup>(7)</sup>.

Secara umum marine growth di bedakan kedalam dua kelompok, yaitu **marine growth mikroskopis**, meliputi bakteri, *diatom*, *protozoa* dan *rotifera*, dan **marine growth makroskopis** meliputi *arthropoda* (*barnacle*, *decapoda*), *mollusca* (*mussel*, *clam*, *oyster*), cacing (*annelide*), *bryozoa*, *coelenterata* (*hydroid*, *anemone*, *coral*) *tunicata*, *sponge*, *echhinodermata* (bintang laut) dan *algae* meliputi biru- hijau, hijau, merah dan coklat. Lima kelompok marine growth yang dominan adalah **barnacle, tunicata, hydroid, marine plant dan bryozoa<sup>(7)</sup>**.

Variasi laju pertumbuhan marine growth terutama dipengaruhi oleh lamanya struktur instalasi dipasang dan suhu perairan sepanjang periode terpaan, selain itu

kekuatan arus pasang surut juga cukup berpengaruh pada pertumbuhan marine growth. Secara rinci berikut ini akan dipaparkan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan marine growth yaitu <sup>(7)</sup>:

### 1. Suhu dan Radiasi Matahari

Suhu perairan mempengaruhi distribusi geografis hewan marine growth dan menentukan priode breeding (perkawinan) nya. Daur suhu mencerminkan fluktuasi tahunan radiasi matahari. Radiasi matahari selain mempengaruhi suhu, juga mempengaruhi laju fotosintesis tumbuhan dan mengendalikan nutrisi hewan. Suhu perairan yang tinggi meningkatkan laju pertumbuhan marine growth. Karena itu marine growth berat diasosiasikan dengan daerah tropis, dimana marine growth ada hampir sepanjang tahun.

### 2. Nutrisi

Marine growth mendapatkan makanan dari perairan yang mengitarinya. Tumbuhan menyerap nutrien seperti fosfat, nitrat dan karbohidrat yang larut di dalam air laut dan mengubahnya menjadi bahan organik dengan bantuan energi matahari. Bahan organik yang dihasilkan oleh tumbuhan tersebut merupakan sumber makanan utama hewan.

### 3. Salinitas

Salinitas perairan alamiah perairan bervariasi antara 30-35 ‰. Salinitas biasanya bertambah dari permukaan ke dasar perairan. Salinitas merupakan faktor penting yang mengendalikan keberadaan marine growth. Marine growth menunjukkan korelasi antara distribusi baik horisontal maupun vertikal dengan distribusi



salinitas. Umumnya marine growth tidak mampu bertahan pada perairan bersalinitas rendah

#### 4. Pencemaran Perairan

Bahan pencemar dapat membahayakan marine growth secara langsung melalui efek beracun atau secara tak langsung melalui penurunan oksigen terlarut pada perairan. Gradien pencemaran terjadi di dekat titik pembuangan limbah dan bergantung pada karakter sirkulasi pasang surut setempat. Limbah domestik secara material mempercepat pertumbuhan marine growth karena memasok bahan organik. Sementara limbah thermal industri dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut, selanjutnya menghambat pertumbuhan hewan aerob selain itu limbah beracun industri juga menghambat pertumbuhan marine growth.

#### 5. Kekeruhan

Pengendapan bahan tersuspensi di perairan dapat menghasilkan substrat yang tidak sesuai untuk perlekatan organisme. Adanya bahan tersuspensi dapat menghalangi penetrasi cahaya matahari ke perairan, selanjutnya membatasi distribusi vertikal alga.

#### 6. Jarak dari pantai dan kedalaman

Jenis dan intensitas marine growth berkurang dari keadaan pantai ke laut lepas. Keadaan tersebut terkait dengan salinitas dan keberadaan substrat untuk menempelnya larva. Jenis dan intensitas marine growth juga berkurang menurut kedalaman. Keadaan tersebut terkait dengan penetrasi cahaya dan kekeruhan perairan.

## 7. Kecepatan Arus

Arus dapat membawa bahan organik yang dibutuhkan oleh marine growth. Bahan organik tersebut dapat berupa bakteri, *diatom*, *protozoa* dan *detritus* (tumbuhan dan hewan mati)

Di Indonesia sendiri terdapat lebih dari 4000 jenis tumbuhan laut, diantaranya jenis teritip (*barnacle*), karang (*coral*) , alga (rumput laut, ganggang laut) kerang (*mollusca* dan *echinodermata* termasuk teripang, bintang laut, bulu babi ) dan lain-lain<sup>(5)</sup>.

Penggunaan teori Morison (akan diterangkan pada bab berikutnya) untuk menghitung beban gelombang telah diterima secara luas dalam rekayasa lepas pantai, ini dapat dimaklumi karena aplikasi teori ini relatif mudah, argumentasi yang melandasi teori tersebut dapat diterima dan belum ada alternatif lain yang lebih praktis. Selain itu sebagian besar bangunan lepas pantai, khususnya yang dipasang tetap memenuhi asumsi yang dipakai oleh teori tersebut, yaitu karakteristik gelombang tidak terpengaruh oleh geometri struktur yang diterpa. Dengan kata lain dimensi struktur relatif kecil dibandingkan dengan panjang gelombangnya.

Kesulitan utama dalam penggunaan teori Morison adalah penentuan koefisien hidrodinamis yang dipakai dalam persamaannya, yaitu koefisien inersia ( $C_m$ ) dan koefisien drag ( $C_d$ ) terutama untuk struktur yang tidak mulus lagi karena adanya akumulasi tumbuhan laut. Harga  $C_d$  untuk silinder berpenampang bundar baik halus maupun kasar telah banyak dipublikasikan, dengan demikian perhitungan beban gelombang dengan teori Morison untuk struktur yang berada di daerah yang



didominasi aliran drag dapat diselesaikan dengan baik. Untuk struktur yang berada di daerah transisi (antara drag dan inersia) dan di daerah yang didominasi aliran inersia, penentuan  $C_m$  masih merupakan problema yang sering dihadapi perancang dalam menentukan besarnya beban gelombang, terutama untuk struktur yang telah ditumbuhi tumbuhan laut. Evaluasi mengenai pengaruh tumbuhan laut yang menyebabkan kekasaran dan menambah ukuran struktur terhadap beban gelombang sering diperlukan, terutama untuk kelaikan struktur untuk penggunaan lebih lanjut setelah umur perancangan dilalui.

Kekasaran permukaan silinder akibat adanya akumulasi tumbuhan laut, memang tidak dapat didiskripsikan secara pasti, karena akumulasi itu sendiri yang tidak konsisten, tumbuhan laut selain menyebabkan kekasaran permukaan struktur juga akan menyebabkan garis tengah silinder menjadi lebih besar. Pertambahan garis tengah berarti penambahan volume air yang dipindahkan oleh silinder yang nota bene adalah penambahan masa fisik struktur. Dengan demikian maka tumbuhan laut menyebabkan pertambahan masa fisik struktur. Karena gaya inersia akibat gelombang sangat ditentukan oleh masa struktur, disamping percepatan fluida, maka pertambahan masa fisik akibat tumbuhan laut akan menyebabkan pertambahan gaya inersia akibat gelombang, penelitian ini akan membuktikan hipotesa tersebut berdasarkan evaluasi hasil percobaan di laboratorium hidrodinamika Fakultas Teknologi Kelautan ITS.



## 1.2. Perumusan Masalah

- ♦ Bagaimana keadaan gaya inersia dengan terjadinya perubahan diameter akibat adanya model kekasaran ?
- ♦ Bagaimana kecenderungan koefisien inersia dalam aliran yang didominasi gaya inersia terhadap perubahan angka Reynold dan Keulegan Carpenter ?.
- ♦ Apakah koefisien inersia untuk silinder bersih hasil pengujian hasilnya sesuai dengan teori ?.

## 1.3. Tujuan

Tujuan utama dari tugas akhir ini seperti telah disinggung diatas adalah melihat pengaruh kekasaran pada pipa tegak yang terkena beban gelombang, terutama untuk aliran yang didominasi gaya inersia. Lebih jauh tugas akhir ini akan menghitung harga koefisien inersia ( $C_m$ ) pipa uji tegak yang bervariasi kekasarannya, setelah perhitungan koefisien dan gaya inersia selesai akan dilakukan analisa dan perbandingan yang bertujuan untuk :

- Memeriksa sampai berapa persen terjadi peningkatan gaya seiring dengan meningkatnya diameter efektif pipa uji akibat adanya kekasaran.
- Melihat besarnya koefisien inersia untuk silinder bersih dan kecenderungannya akibat adanya kekasaran permukaan pipa uji
- Melihat hubungan Angka Reynold dan Keulegan Carpenter serta kekasaran relatif ( $K/D$ , dimana  $k$  ukuran kekasaran model,  $D$  diameter pipa) terhadap koefisien inersia untuk silinder bersih dan untuk permukaan pipa yang mempunyai kekasaran.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Guna mempermudah penyelesaian tugas akhir ini, tanpa mengurangi bobot penelitian, maka perlu ditetapkan pembatasan masalah dan anggapan sebagai berikut:

- Pipa uji yang diperhitungkan untuk mendapatkan harga koefisien inersia dan nilai-nilai lainnya, hanyalah sepanjang jarak antara kedua posisi strain gauge atas dan bawah, semua bagian diluar daerah tersebut dianggap tidak mempengaruhi hasil pengujian.
- Kedudukan pipa didalam kolam uji dianggap selalu dalam keadaan rigid (kaku) dalam artian tidak ada respon dinamis.
- Model tumbuhan laut akan dibuat dari karet yang ketebalannya bervariasi dengan kekasarannya diasumsikan merata sepanjang pipa uji.
- Beban yang diperhitungkan hanya beban gelombang dengan bentuk sinusoidal, dengan variasi tinggi dan periode gelombang yang memenuhi batasan untuk dominasi gaya inersia,  $KC < 5$ , sehingga gaya drag yang timbul adalah kecil sekali dan bisa diabaikan.
- Gelombang yang mengenai pipa uji selalu tegak lurus dengan garis sumbu pipa dan hanya dari satu arah yang tidak berubah-ubah.
- Gaya angkat akibat adanya model diabaikan.

#### **1.5. Sistematika Penulisan**

Untuk menyelesaikan pembuatan tugas akhir ini, telah disusun sistematika penulisan sebagai berikut :



## Bab I. Pendahuluan

Diuraikan mengenai dasar pemikiran dan latar belakang yang melandasi penelitian ini, perumusan masalah dan tujuan yang hendak dicapai serta batasan permasalahannya.

## Bab II. Tinjauan Pustaka

Dalam bab ini diuraikan mengenai penelitian-penelitian sejenis yang telah dipublikasikan, persamaan-persamaan yang digunakan dalam perhitungan, pemilihan teori gelombang yang sesuai dan hukum-hukum kesamaan.

## Bab III. Metodologi Penelitian

Berisi urutan langkah penyelesaian tugas akhir ini, mulai dari studi literatur, persiapan dan proses percobaan, analisa data sampai dengan penarikan kesimpulan hasil percobaan.

## Bab IV. Perhitungan dan Analisa Data

Dalam bab ini diuraikan mengenai perhitungan dan analisa data berikut grafik-grafiknya yang diperoleh dari percobaan, selain itu disajikan pula beberapa perbandingan hasil pengujian dengan hasil pengujian sejenis yang telah dipublikasikan.

## Bab V. Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan hasil percobaan dan saran-saran untuk penyempurnaan hasil percobaan.





BAB II  
TINJAUAN  
PUSTAKA



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Persamaan Morison**

Untuk menghitung besarnya gaya gelombang pada suatu struktur bangunan lepas pantai, yang umumnya tersusun atas pipa silinder baik horisontal maupun vertikal, ada beberapa macam cara yaitu dengan menggunakan persamaan Morison, teori Froude Krylov atau dengan menggunakan teori difraksi. Persamaan Morison mengasumsikan gaya gelombang tersusun atas gaya drag dan inersia yang dijumlahkan bersama secara linier, komponen-komponen penyusun gaya ini mengandung koefisien inersia dan drag yang harus dicari melalui eksperimen. Teori Froude Krylov digunakan bila gaya drag kecil dan gaya inersia lebih dominan, tetapi struktur masih relatif kecil dibandingkan karakteristik gelombang, bila struktur relatif besar maka dipakai teori difraksi <sup>(1)</sup>.

J.R Morison, O'Brien, Johnson dan shaaf pada tahun 1950 telah melakukan serangkaian percobaan untuk menghitung besarnya gaya horisontal akibat gelombang dan arus pada silinder vertikal, melalui percobaannya ini Morison berhasil mendapatkan suatu persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung besarnya gaya horisontal per satuan panjang pada silinder vertikal, sketsa dari gaya gelombang pada silinder vertikal ditunjukkan dalam gambar 2.1. Ekspresi matematis persamaan Morison adalah sebagai berikut :

$$dF = dFD + dFI$$

$$dF = \frac{1}{2} C_d \rho D u |u| dS + 0,25 C_m \rho (\pi D^2/4) \frac{\delta u}{\delta t} dS \quad (2.1)$$

dimana :

$dF$  = Gaya hidrodinamis tiap satuan panjang yang tegak lurus sumbu

$dFD$  = Gaya drag tiap satuan panjang yang tegak lurus sumbu yang dibuat pada bidang yang dibuat oleh sumbu dengan kecepatan partikel air

$dFI$  = Gaya inersia tiap satuan panjang yang bekerja tegak lurus sumbu pada bidang yang dibuat oleh sumbu tersebut dengan percepatan partikel air

$C_d$  = Koefisien drag.

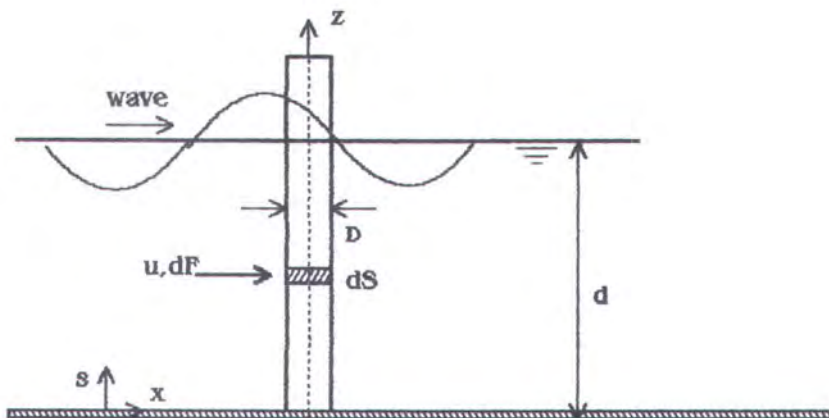
$C_m$  = Koefisien inersia

$D$  = Diameter struktur

$\rho$  = Massa jenis air

$u$  = Kecepatan partikel air

$\frac{\delta u}{\delta t}$  = Percepatan partikel air



Gambar 2.1. Sketsa Gaya Gelombang pada Silinder Vertikal Berdiameter Kecil



Gaya horisontal ini mempunyai arah yang sama dengan dengan arah perambatan gelombang, seperti terlihat dari persamaan diatas, rumusan Morison ini terdiri atas dua komponen yaitu :

- ♦ Gaya drag, dalam aliran tetap (*steady flow*) gaya ini sebanding dengan kuadrat dari kecepatan partikel air, gaya drag terjadi karena adanya perbedaan tekanan antara aliran depan (*upstream*) dan aliran belakang (*down stream*), adanya viskositas air juga mempengaruhi gaya drag. Kecepatan partikel air diberi tanda mutlak, berfungsi untuk menjamin bahwa arah dari gaya drag senantiasa searah dengan kecepatan partikel air.
- ♦ Gaya inersia, gaya ini tidak tergantung pada viskositas air dan sebanding dengan komponen horisontal dari percepatan partikel air. Gaya inersia tersusun atas dua bagian yaitu *hydrodynamic added mass* yaitu bagian air yang ikut terbawa gerakan silinder, *added mass* (massa tambah) ini menaikkan massa nyata dari struktur, bagian kedua dari penyusun gaya inersia adalah gaya tekanan tak terusik yang dikenal dengan gaya Froude Krylov, bagian ini timbul karena air harus melewati silinder, sehingga menyebabkan penyimpangan garis alir, penyimpangan ini menyebabkan naiknya gradien tekanan terhadap percepatan partikel air, sehingga bila diuraikan lebih lanjut menjadi:

$$\begin{aligned}
 FI &= (C_a \rho \pi D^2/4 + \rho \pi D^2/4) \frac{\delta u}{\delta t} dS \\
 &= ((C_a + 1) \rho \pi D^2/4) \frac{\delta u}{\delta t} dS
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

$C_a$  merupakan koefisien massa tambah, untuk bentuk sirkular silinder sering diambil sama dengan 1, hal ini menyebabkan harga  $C_m = 2$ . Dalam menghitung gaya inersia, kita tak mungkin lepas dari koefisien inersia ( $C_m$ ), koefisien ini merupakan konstanta yang akan banyak disebut dalam penulisan tugas akhir ini, karena dalam penelitiannya hanya menitik beratkan pada perhitungan gaya inersia. Dalam kasus beban gelombang harga koefisien inersia tidak hanya dipengaruhi oleh angka Reynold ( $Re$ ), tetapi juga oleh angka Keulegan Carpenter ( $KC$ ). Rumusan angka Reynold dan Keulegan Carpenter adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{uD}{\nu} \quad (2.3)$$

$$KC = u T/D \quad (2.4)$$

Dimana :

$u$  = Kecepatan partikel air

$D$  = Diameter Silinder

$T$  = Periode Gelombang

$\nu$  = Viskositas kinematis air

Ada beberapa asumsi yang dipakai dalam pemakaian teori Morison diantaranya :

1. Struktur tidak dipengaruhi oleh gerak gelombang (adanya gelombang) hal ini berarti diameter struktur kecil dibandingkan dengan panjang gelombang atau  $D/\lambda \leq 0,2$
2. Kecepatan dan percepatan partikel air yang ada dalam persamaan Morison, dihitung dengan teori gelombang yang ada (Airy, Stoke, Cnoidal dan lain-lain), pemilihan teori gelombang mengacu pada *region of validity*



3. Gaya angkat tidak diperhitungkan.
4. Gaya gelombang pada silinder tegak yang terbenam pada hakekatnya dapat dinyatakan sebagai jumlah dari gaya drag dan inersia, yang masing-masing gaya ini dapat dihitung secara terpisah.

## 2.2. Gaya-gaya Dinamis

Ada beberapa gaya yang bekerja pada silinder yang muncul sebagai akibat adanya interaksi antara struktur dengan lingkungannya, khususnya interaksi antara fluida dengan struktur. Gaya-gaya lingkungan yang bekerja pada struktur lepas pantai yang cukup besar pengaruhnya terhadap perhitungan beban pada saat mendesain struktur adalah :

- a. Gaya akibat gelombang (*wave force*)
- b. Gaya akibat arus (*current force*)
- c. Gaya akibat angin (*wind force*)
- d. Gaya akibat getaran gempa bumi (*earthquake force*)

## 2.3. Beban dan Teori Gelombang

### 2.3.1. Beban Gelombang

Beban gelombang yang diderita platform mempunyai sifat dinamis, akan tetapi dalam perancangan umumnya menggunakan perhitungan statis, kecuali pada perairan yang cukup dalam, dimana selama operasi struktur platform akan cenderung bersifat lentur, untuk kasus demikian, analisa statis tentunya tidak sesuai lagi.

Dari segi arah maupun kedinamisannya, beban gelombang merupakan beban lingkungan yang paling besar jika dibandingkan beban angin atau beban arus. Tiga diantara berbagai parameter pokok yang menentukan pemilihan metode pendekatan atau prosedur untuk perhitungan beban gelombang adalah geometri struktur, panjang dan tinggi gelombang. Ketiga parameter tersebut umumnya dinyatakan dalam bentuk perbandingan yaitu :

- Perbandingan antara geometri struktur dengan panjang gelombang
- Perbandingan antara tinggi gelombang dan geometri struktur

Keterangan lebih lanjut pengertian diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Perbandingan antara diameter struktur dengan panjang gelombang ( $D/\lambda$ )

Perbandingan ini menyatakan ukuran struktur relatif terhadap gelombang, yang mengandung pengertian sampai sejauh mana pengaruh struktur tersebut dengan karakteristik gelombang, yaitu sebagai berikut:

- ♦ Untuk  $D/\lambda \leq 0.2$ , struktur dianggap kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombang, sehingga struktur tersebut tidak mempengaruhi atau merubah karakteristik gelombang yang mengenainya, untuk kasus seperti ini perhitungan gelombang dapat menggunakan teori Morison.
- ♦ Untuk  $D/\lambda \geq 0.2$ , geometri struktur dianggap cukup besar, sehingga mempengaruhi karakteristik gelombang yang mengenainya, ini berarti refleksi dan radiasi dari energi gelombang akibat interaksi antara struktur dengan gelombang harus diperhitungkan, untuk kasus yang demikian ini, teori Morison tidak dapat dipakai, pendekatan yang dipakai adalah teori difraksi



## 2. Perbandingan antara tinggi gelombang dengan geometri struktur ( $H/D$ )

- ♦ Untuk  $H/D$  kecil ( $H/D < 1.5$ ), diameter orbit partikel yang terjadi juga kecil, ini berarti bahwa aliran searah yang timbulpun juga kecil, sehingga tidak mampu untuk menimbulkan pemisahan aliran maupun pusaran. Dalam hal ini gaya drag yang terjadi sangatlah kecil, sehingga gaya yang mendominasi adalah gaya inersia.
- ♦ Untuk  $H/D$  yang besar ( $H/D > 8$ ), maka aliran searah yang timbul juga besar, sehingga dibelakang struktur aliran tersebut akan mengalami pemisahan dan timbul pusaran, dalam hal yang demikian ini maka gaya drag yang timbul adalah besar.

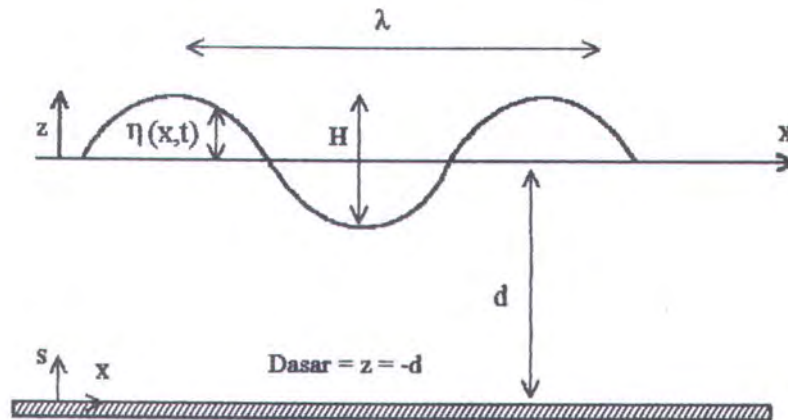
### 2.3.2. Teori Gelombang

Dalam menghitung gaya gelombang dengan menggunakan teori morison, maka akan ditemui komponen kecepatan dan percepatan yang harus dihitung terlebih dahulu. Untuk menghitung kecepatan dan percepatan ini, maka dipakai teori gelombang, pada dasarnya secara matematis teori gelombang dapat dibedakan menjadi dua yaitu teori linier/Airy dan teori non linier.

#### 1. Teori linier/Airy (*small amplitude wave theory*)

Teori ini relatif sederhana, pertama kali dikembangkan oleh G.B. Airy pada tahun 1842, teori ini mengasumsikan bentuk gelombang sinusoidal, dimana tinggi gelombangnya adalah kecil dibandingkan panjang gelombang dan kedalaman air. Teori linier ini dapat digunakan baik untuk perairan dangkal, sedang dan perairan dalam.

Karena umur dari teori ini sudah lebih dari satu abad, maka sudah banyak sekali literatur yang menguraikan penurunannya, berikut ini akan ditunjukkan persamaan-persamaan yang sering digunakan dalam persamaan Airy,



Gambar 2.2. Sketsa Gelombang Linier

Persamaan umum yang sering dipakai dalam teori gelombang linier diantaranya:

Profil permukaan gelombang ( $\eta$ )  $\eta = H/2 \cos(kx - \omega t)$  (2.5)

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.6)$$

$$\omega = 2\pi/T \quad (2.7)$$

$$\omega^2 = gk \tanh kd \quad (2.8)$$

Kecepatan horisontal  $u$  dan kecepatan vertikal  $v$  dari partikel air pada posisi  $(x,y)$  dan waktu  $t$  di ekspresikan sebagai berikut:

$$u = \omega H/2 \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2.9)$$



$$v = \omega H/2 \frac{\sinh.k.s}{\sinh.kd} (kx - \omega t) \quad (2.10)$$

Percepatan horisontal  $a_x$  dan percepatan vertikal  $a_y$  dapat diperoleh dari penurunan  $u$  dan  $v$  diatas terhadap waktu sehingga diperoleh:

$$a_x = \frac{\delta u}{\delta t} = \omega^2 H/2 \frac{\cosh.k.s}{\sinh.kd} \sin (kx - \omega t) \quad (2.11)$$

$$a_y = \frac{\delta v}{\delta t} = -\omega^2 H/2 \frac{\sinh.k.s}{\sinh.kd} \cos (kx - \omega t) \quad (2.12)$$

dimana :  $k$  = angka gelombang

$\omega$  = Frekuensi gelombang

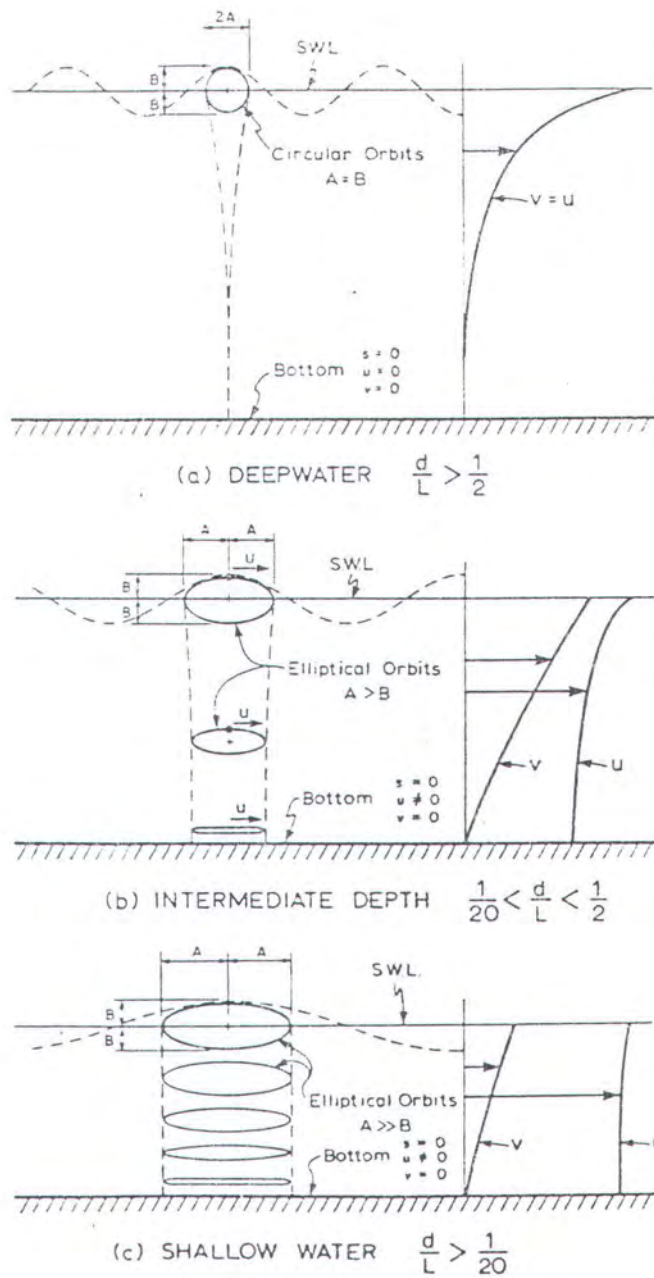
$T$  = Priode gelombang

$d$  = Kedalaman perairan

$\lambda$  = Panjang gelombang

$s = d + z$

Dalam gambar 2.3. ditunjukkan berbagai macam bentuk orbit partikel dan profil kecepatan partikel air untuk berbagai macam kedalaman.



Gambar 2.3. Orbit Partikel Air untuk Berbagai Variasi Kedalaman



## 2. Teori non linier

Termasuk dalam teori gelombang ini adalah Stoke (derajat 2, 3, 4 dan 5), teori gelombang Cnoidal dan lain-lain. Dibawah ini hanya akan diuraikan sedikit teori gelombang stoke orde dua, mengingat teori gelombang inilah yang akan dipakai dalam perhitungan kecepatan dan percepatan gelombang untuk menyelesaikan persamaan yang ada. Teori ini diperkenalkan oleh Stokes pada tahun 1847 sebagai pengembangan teori Airy/teori gelombang linier, metode yang dilakukan adalah melakukan ekspansi penyelesaian persamaan gelombang dalam bentuk seri (deret) matematis dan menentukan koefisien-koefisien dalam besaran-besaran tersendiri, sehingga dapat memenuhi persamaan hidrodinamis untuk gelombang dengan amplitudo terhitung, teori ini valid untuk  $d/\lambda > 1/10$ . Beberapa persamaan yang dipakai dalam teori gelombang Stoke orde dua diantaranya adalah :

$$\eta = H/2 \cos \Theta + \frac{\pi H^2}{8\lambda} \frac{\cosh ks}{\sinh^3 kd} (2 + \cosh 2kd) \cos 2\Theta \quad (2.13)$$

Untuk peraiaran dalam profil gelombangnya menjadi :

$$\eta = H/2 \cos \Theta + \frac{\pi H^2}{4\lambda} \cos 2\Theta \quad (2.14)$$

Dimana :  $\Theta = (kx - \omega t)$

Kecepatan horisontal  $u$  dan vertikal  $v$  dari partikel air adalah :

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \Theta + 3/4 \left( \frac{\pi H}{\lambda} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\Theta \quad (2.15)$$

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \sin \Theta + 3/4 \left( \frac{\pi H}{\lambda} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh 2ks}{\sinh^4 kd} \sin 2\Theta \quad (2.16)$$

Percepatan partikel air kearah horisontal ( $a_x$ ) dan vertikal ( $a_y$ )

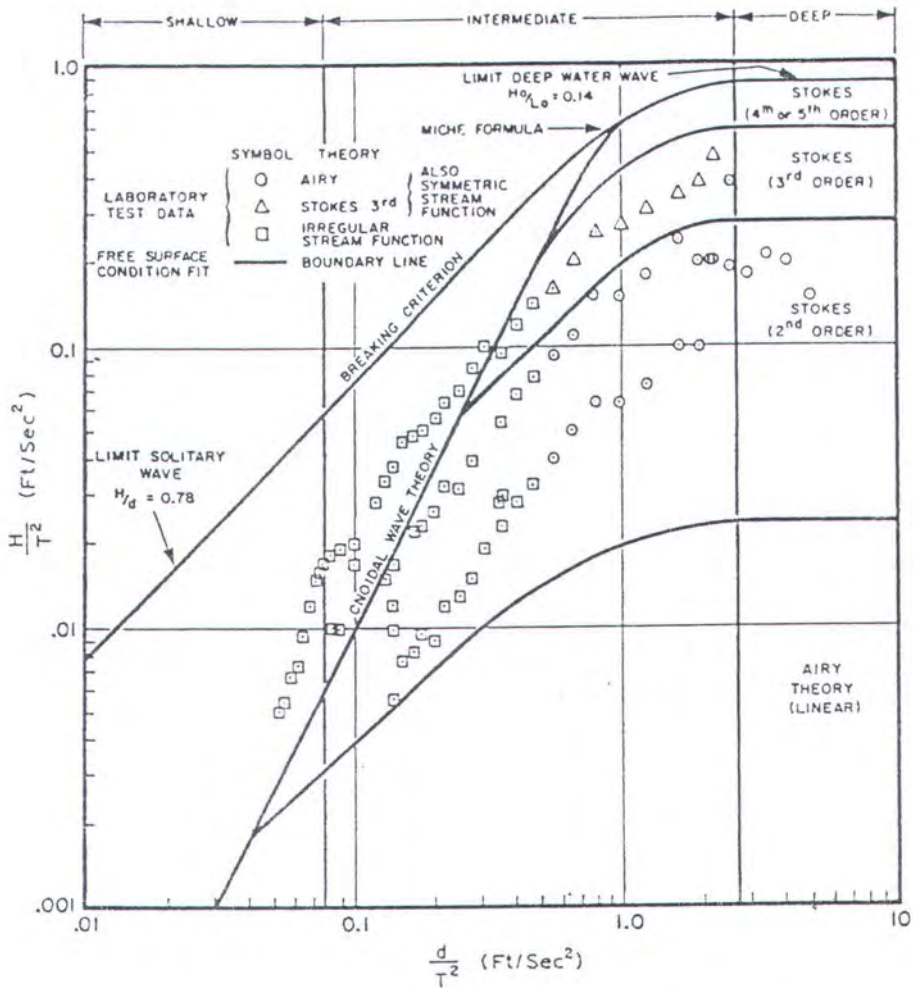
$$a_x = \frac{\delta u}{\delta t} = \frac{2\pi^2 H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \sin \Theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left( \frac{\pi H}{\lambda} \right) \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \sin 2\Theta \quad (2.17)$$

$$a_y = \frac{\delta v}{\delta t} = -\frac{2\pi^2 H}{T} \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \cos \Theta - \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left( \frac{\pi H}{\lambda} \right) \frac{\sinh 2ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\Theta \quad (2.18)$$

#### 2.4. Region Of Validity

Dalam menyelesaikan persamaan Morison, ada komponen-komponen yang harus diselesaikan lebih dulu yaitu komponen kecepatan dan percepatangelombang, untuk menentukan teori gelombang mana yang paling sesuai untuk menyelesaikan komponen kecepatan dan percepatan, maka digunakan *region of validity*, *range of validity* dari berbagai teori gelombang disajikan dalam bentuk grafik, sebagai absis dari grafik ini adalah  $d/T^2$  dan ordinatnya adalah  $H/T^2$ , dimana  $d$ = kedalaman perairan dan  $T$  = priode gelombang, jadi dengan menghitung terlebih dahulu  $d/T^2$  dan  $H/T^2$  pada masing-masing perairan yang ditinjau dapat ditentukan teori gelombang mana yang sesuai, grafik region of validity ditunjukkan dalam gambar 2.4.





Gambar 2.4. Region of Validity

## 2.5. Hukum Kesamaan

Untuk mengidealisasikan suatu model agar mendekati keadaan yang sesungguhnya, perlu adanya syarat-syarat kesamaan, syarat kesamaan ini adalah sebagai berikut :

a. Kesamaan Geometri (*Geometric similarity*)

Kesamaan geometri adalah kesamaan perbandingan antara ukuran model dengan prototype, harga perbandingan ini selalu bernilai konstan, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\lambda_1 = \frac{L_p}{L_m} = \frac{B_p}{B_m} = \frac{T_p}{T_m} = \text{konstan} \quad (2.19)$$

$L_p$  = Panjang sesungguhnya       $L_m$  = Panjang model

$B_p$  = Lebar sesungguhnya       $B_m$  = Lebar model

$T_p$  = Tinggi sesungguhnya       $T_m$  = Tinggi model

$\lambda_1$  = Konstanta (prototype/model)

b. Kesamaan Kinematik (*Kinematic similarity*)

Kesamaan kinematik adalah kesamaan perbandingan antara kecepatan prototype dengan kecepatan model terhadap suatu titik, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{V_m}{\sqrt{gL_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{gL_p}} \quad F_n(m) = F_n(p) \quad (2.20)$$

$$\frac{V_m L_m}{\nu_m} = \frac{V_p L_p}{\nu_p} \quad Re(m) = Re(p) \quad (2.21)$$

$V_m$  = Kecepatan model

$V_p$  = Kecepatan prototype

$\nu_m$  = Viskositas kinematis model

$F_n$  = Froude number



$\nu_p$  = Viskositas kinematis prototype

$Re$  = Reynold number

### c. Kesamaan Dinamis (*Dynamic similarity*)

Kesamaan dinamis adalah jika dua sistim dinamis mempunyai rasio yang sama keduanya, gaya-gaya yang bekerja pada elemen fluida meliputi gaya gravitasi ( $F_g$ ), gaya tekan ( $F_p$ ), gaya viskositas ( $F_v$ ), gaya elastisitas ( $F_e$ ), gaya inersia ( $F_i$ ).

Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{F_{g(p)}}{F_{g(m)}} = \frac{F_{p(p)}}{F_{p(m)}} = \frac{F_{v(p)}}{F_{v(m)}} = \frac{F_{i(p)}}{F_{i(m)}} \quad (2.22)$$

$$\left(\frac{F_i}{F_g}\right)_p = \left(\frac{F_i}{F_g}\right)_m \quad \left(\frac{F_i}{F_p}\right)_p = \left(\frac{F_i}{F_p}\right)_m \quad \left(\frac{F_i}{F_v}\right)_p = \left(\frac{F_i}{F_v}\right)_m \quad (2.23)$$

Jadi untuk mengidealisasikan model agar dapat memenuhi keadaan seperti aslinya, harus dipenuhi ketiga persyaratan kesamaan diatas.

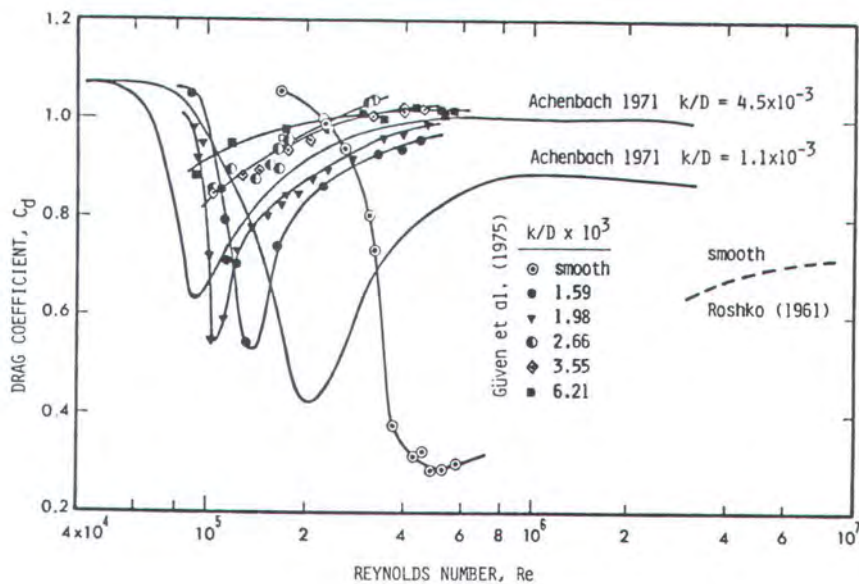
## 2.6. Penelitian-Penelitian Terhadap Pengaruh Kekasaran Pada Silinder

Penelitian mengenai pengaruh kekasaran permukaan pipa terhadap koefisien drag dan inersia telah cukup banyak diteliti oleh para ilmuwan, meskipun demikian penelitian yang intensif untuk mengetahui koefisien inersia pada struktur ramping akibat gelombang masih sangat terbatas dan pada umumnya kurang menjadi perhatian utama, alasan utama mengenai hal tersebut adalah jarang sekali struktur ramping yang memenuhi asumsi Morison, khususnya bangunan lepas pantai yang dipancang tetap berada didaerah yang didominasi inersia. <sup>(8)</sup>

Penelitian terhadap pengaruh kekasaran yang banyak dilakukan umumnya untuk dominasi gaya drag, para peneliti tersebut diantaranya Fage dan Warsap (1929)<sup>(6)</sup>, merupakan peneliti pertama yang menyelidiki pengaruh dari *grid generated turbulence*, *tripping wires* dan kekasaran permukaan yang melewati circular silinder. Fage dan Warsap, dalam menambah kekasaran permukaan memakai kertas gosok dengan tingkat kekasaran yang divariasikan serta memasang *tripping wires* di boundary layer. Kenaikan harga koefisien drag ( $C_d$ ) pada silinder kasar yang terjadi pada angka Reynold yang super critical ( $5 \times 10^5 - 3 \times 10^6$ ), mengakibatkan aliran boundary layer terhambat. Fage dan Warsap juga mencatat jika permukaan pipa sangat kasar, aliran disekitar silinder lambat laun membesar dan tidak terpengaruh oleh perubahan pada angka Reynold yang besar.

Achenbach (1968)<sup>(6)</sup> membuat pengukuran tekanan dan gesekan permukaan pada angka Reynold hingga diatas  $3 \times 10^6$ , pengukurannya menunjukkan bahwa pada angka Reynold yang besar, koefisien drag tidak tergantung pada angka Reynold, namun tergantung dari kekasaran relatif ( $k/D$ ), dimana  $k$  adalah ukuran kekasaran partikel dan  $D$  diameter silinder. Achenbach juga menemukan bahwa dengan meningkatnya kekasaran mengakibatkan semakin tingginya gesekan permukaan yang menyebabkan membesarnya tahanan dari boundary layer.





Gambar 2.5. Grafik  $C_d$  silinder Kasar sebagai fungsi angka Reynold

Bathan (1973)<sup>(6)</sup> telah melaporkan penelitiannya mengenai pengaruh kekasaran permukaan silinder dengan distribusi yang merata ( $k/D=2,17 \times 10^3$ ), free stream turbulence pada angka Reynold  $1,1 \times 10^5$  dan  $2,35 \times 10^5$ .

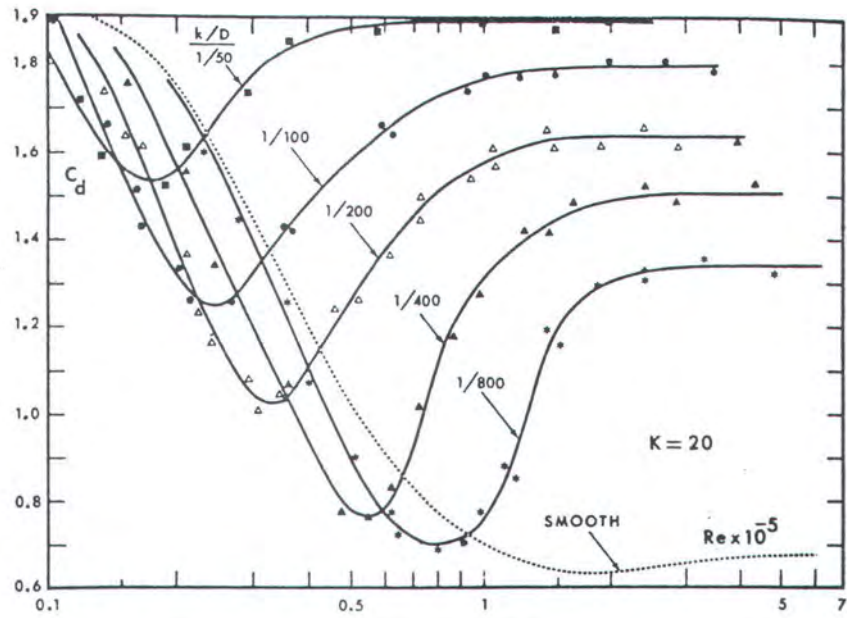
Güven (1975)<sup>(6)</sup> melakukan penelitian dengan membandingkan antara pipa halus dan pipa kasar untuk mengetahui pengaruh kekasaran, Güven menggunakan kertas gosok yang ada dipasaran, salah satu kesimpulannya menunjukan bahwa kekasaran akan sangat berpengaruh pada angka Reynold yang sangat besar.

Sarpkaya (1976)<sup>(1, 6)</sup> dalam penelitiannya menggunakan pasir sebagai model kekasaran permukaan silinder pada aliran harmonik, sebagian dari hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.6 .untuk  $KC=20$  dan  $100$ , masing-masing kurva dalam grafik

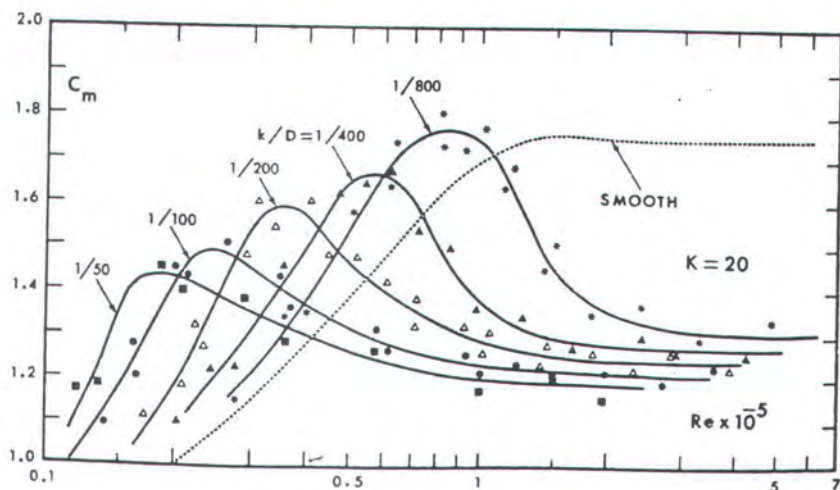
tersebut dihubungkan dengan beberapa kekasaran relatif ( $k/D$ ) terhadap angka Reynold, dari grafik dapat dilihat bahwa pada angka Reynold yang rendah, adanya kekasaran tidak menyebabkan perbedaan yang berarti pada koefisien drag jika dibandingkan silinder halus. Dengan kenaikan angka Reynold, koefisien drag silinder kasar menurun drastis sampai mencapai suatu harga kritis, untuk kemudian naik kembali dengan tajam dan mendekati konstan pada selang angka Reynold post-supercritical ( $>3 \times 10^6$ ), sementara itu harga koefisien inersia justru naik sampai maksimum, kemudian turun mendekati konstan pada harga angka Reynold yang semakin besar.

Miller menyelidiki pengaruh kekasaran permukaan karena tumbuhan laut di terowongan angin (wind tunnel) pada aliran steady, ia menyimpulkan bahwa pengaruh kekasaran permukaan karena marine growth dan kekasaran permukaan karena pasir dengan kekasaran yang sama, mempunyai koefisien drag yang sama, koefisien drag yang didapat dari hasil pengujian pada aliran steady yang melewati silinder kasar, dapat digunakan untuk aliran bergelombang bila beban drag lebih dominan.

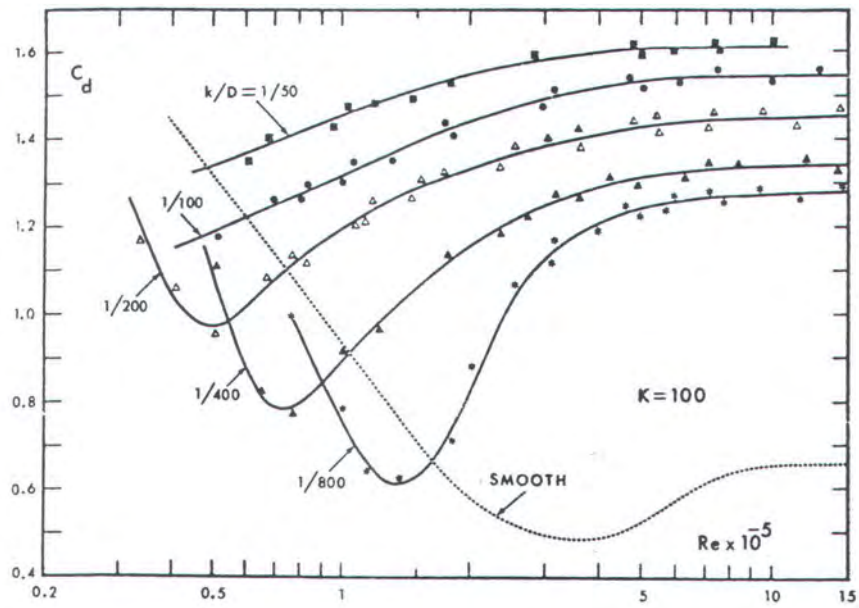




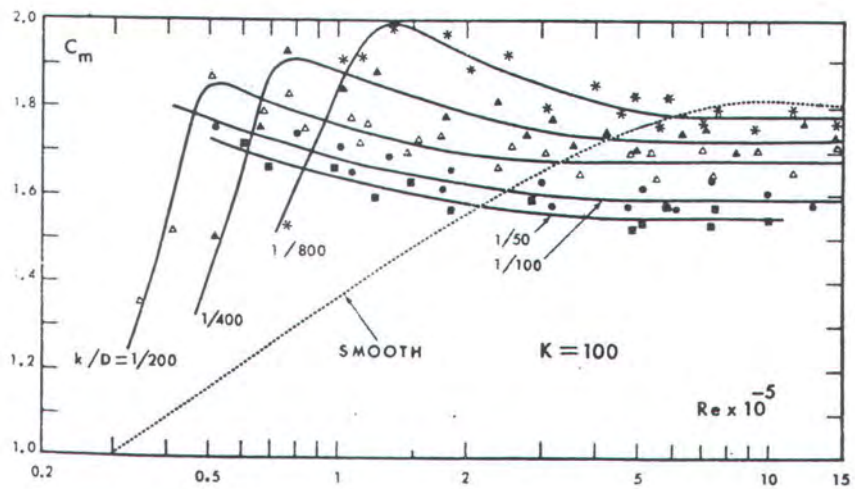
Gambar 2.6a.  $C_d$  versus  $Re$  Untuk Silinder Kasar,  $K=20$



Gambar 2.6b.  $C_m$  versus  $Re$  untuk silinder Kasar,  $K=20$

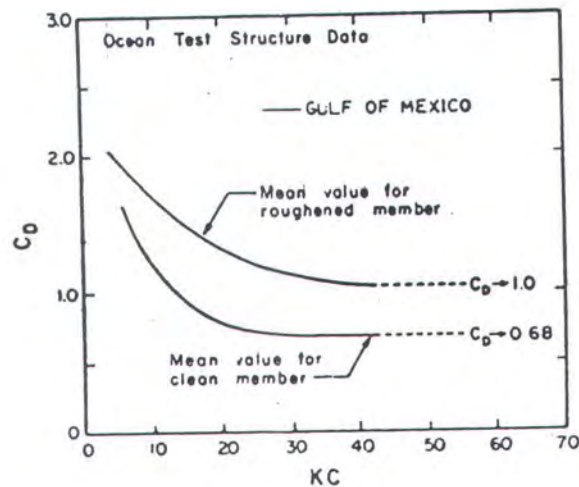


Gambar 2.6c.  $C_d$  versus  $Re$  untuk silinder kasar,  $K=100$



Gambar 2.6d.  $C_m$  versus  $Re$  untuk silinder kasar,  $K=100$

Sementara itu kerjasama dunia industri dan Ocean Test Structure (OTS) telah dilakukan dalam penelitian di teluk Mexico, mengenai pengaruh gaya gelombang pada silinder dengan diameter luar 16 inci dan panjang 32 inci pada kedalaman 15 ft dari permukaan air rata-rata, adalah Heidemen *et al* (1979)<sup>(1)</sup> yang menyelidiki koefisien inersia dan drag dari pengukuran silinder bersih dan kasar sebagai fungsi angka Keulegan Carpenter (KC), pengamatannya menunjukkan peningkatan besarnya harga rata-rata koefisien drag dengan kekasaran relatif dan hubungannya dengan penurunan koefisien inersia, yang bisa dilihat dalam grafik dan tabel dibawah ini.



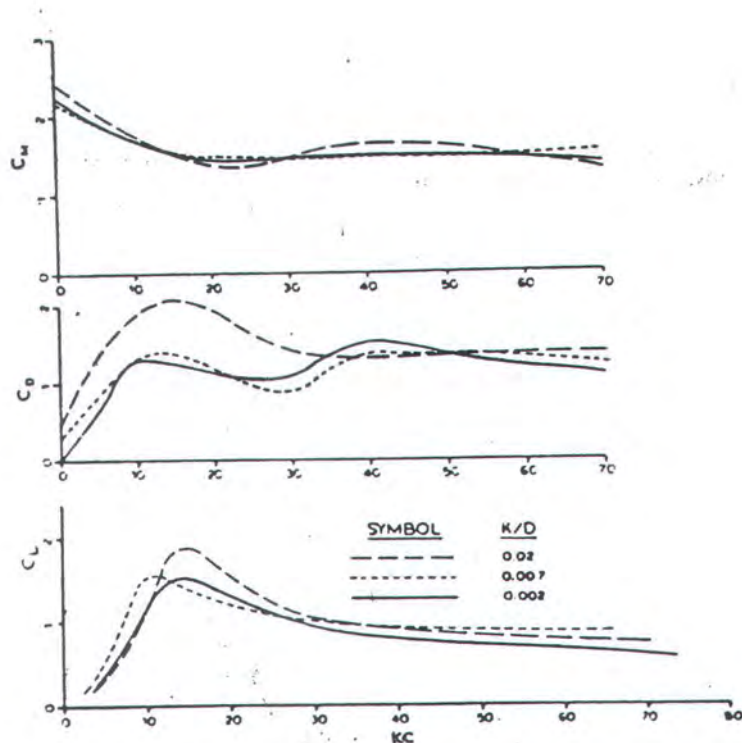
Gambar 2.7. Nilai rata-rata  $C_d$  versus KC untuk silinder bersih dan kasar

Tabel 2.1. Koefisien Inersia dari data OTS (Heideman et al, 1979)

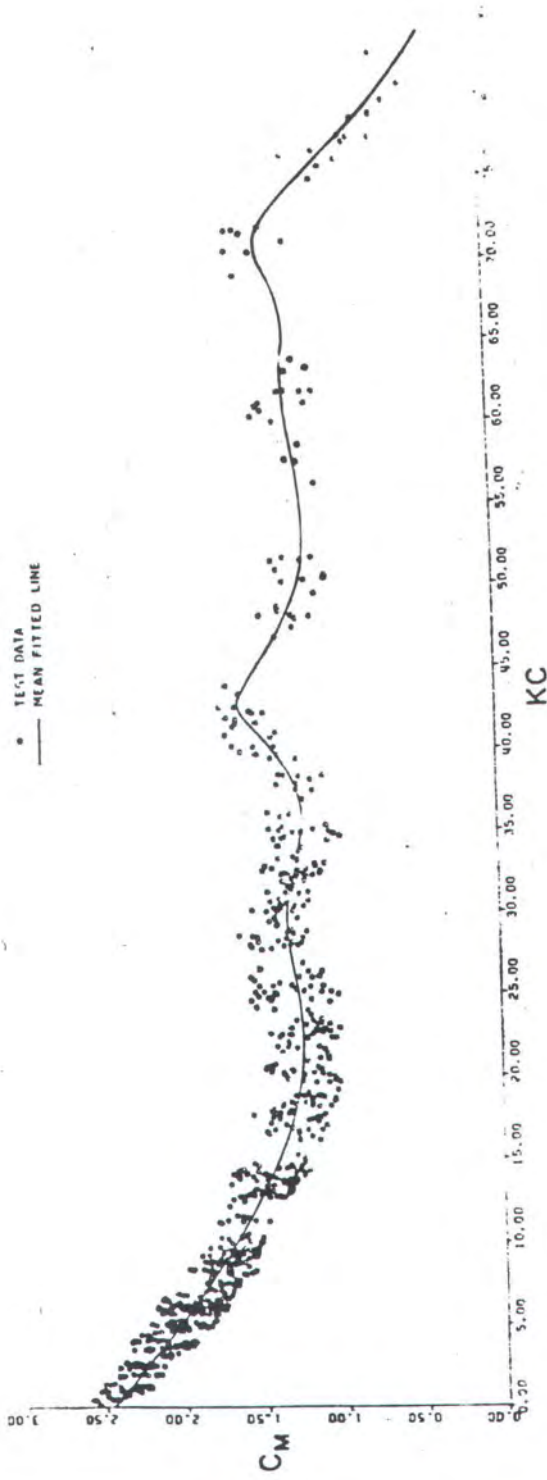
		Metode Analisa			
		I		II	
Kondisi Benda uji	k/D	Cm	St.dev	Cm	St.dev
Bersih/halus	0,00	1,51	0,31	1,65	0,28
kasar	0,03	1,25	0,34	1,43	0,35



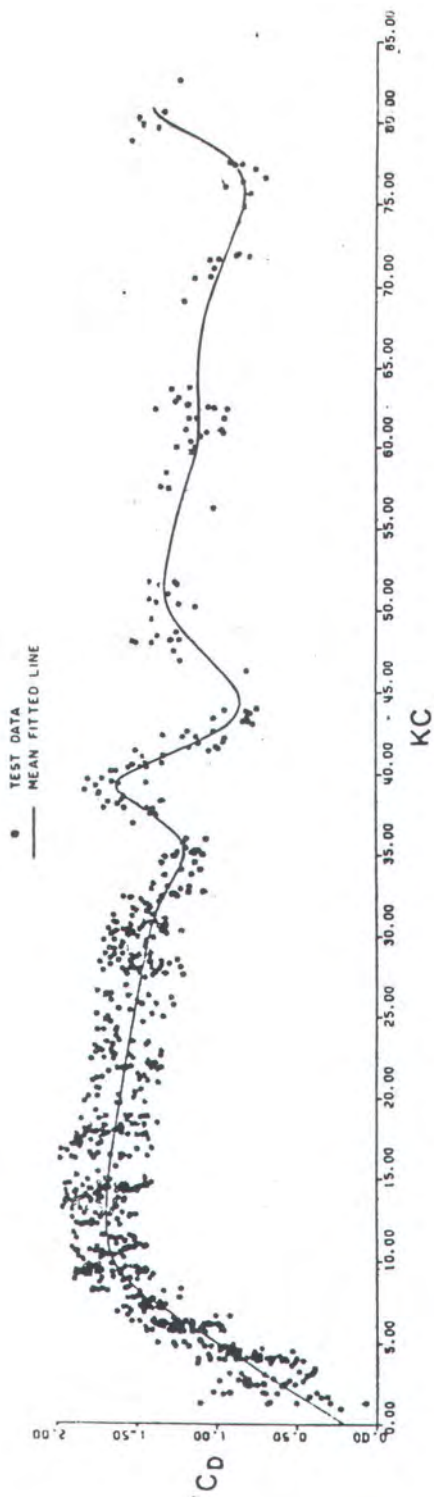
Chakrabarti (1982)<sup>(1)</sup> melakukan pengujian pada silinder vertikal yang diberi kekasaran pasir, model ini diuji dengan gelombang reguler, gaya pada bagian-bagian kecil dihitung. Pengukuran gaya dianalisa untuk mengetahui nilai-nilai koefisien drag, inersia dan koefisien gaya angkat. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada gambar 2.8, koefisien kekasaran ( $k/D$ ) bervariasi dari 0,002 sampai dengan 0,02. Dari pengujian ini dapat dilihat bahwa koefisien inersia relatif tidak terpengaruh oleh kekasaran silinder, sementara itu koefisien gaya drag dan gaya angkat bertambah pada pertengahan range angka Keulegan Carpenter, sedangkan untuk silinder bersih chakrabarti menemukan bahwa bila koefisien inersia bertambah besar maka koefisien drag bertambah kecil atau sebaliknya untuk range angka KC yang sama.



Gambar 2.8. Nilai rata-rata  $C_d$ ,  $C_m$  dan  $C_l$  versus KC



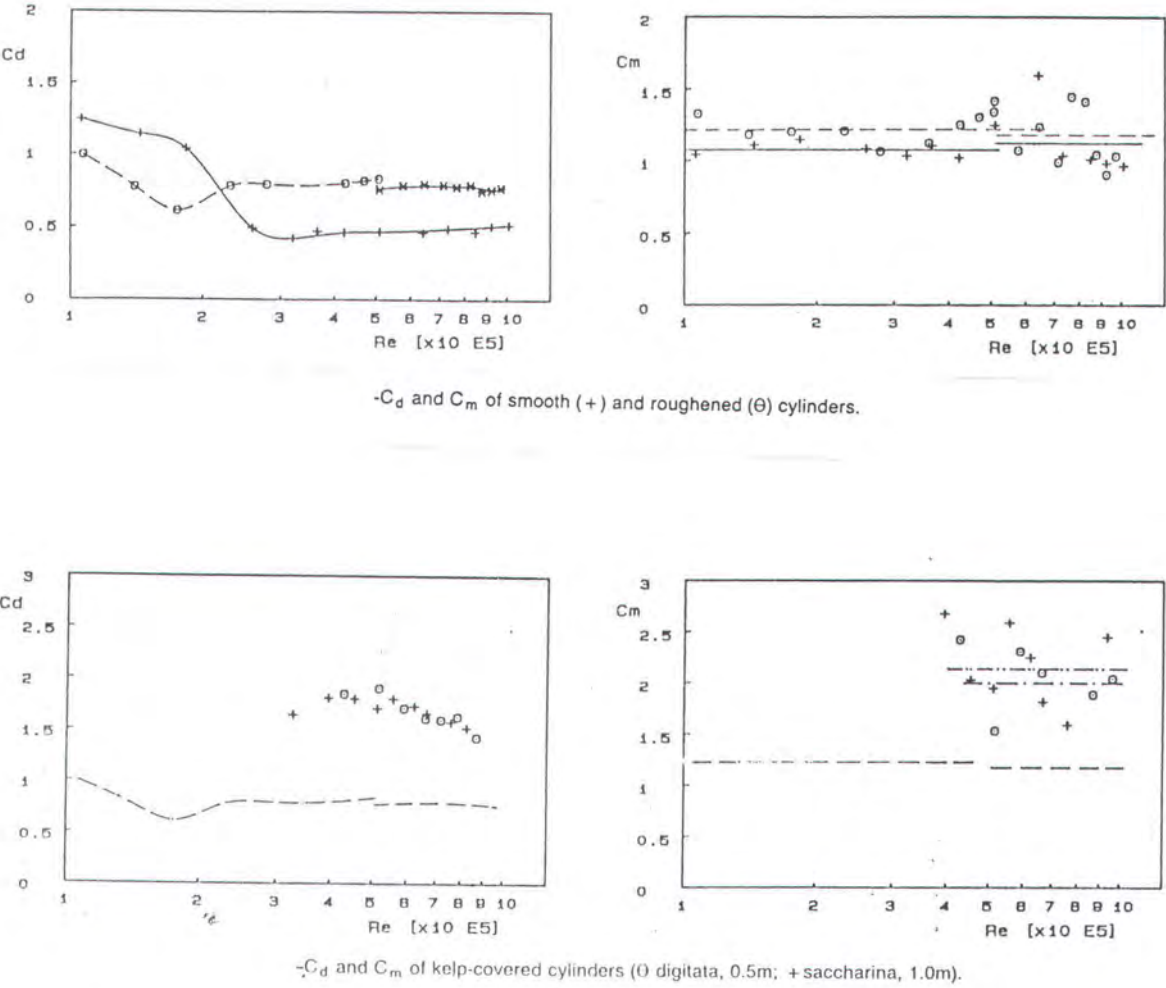
Gambar 2.9. Koefisien Inersia Vs  $KC$  untuk silinder bersih (Chakrabarti)



Gambar 2.10. Koefisien drag Vs KC untuk silinder bersih (Chakrabarti)



J. Wolfram dan Theophanatos (1985)<sup>(10)</sup> melakukan penelitian pengaruh kekasaran silinder dengan menggunakan beberapa jenis tumbuhan laut baik jenis keras maupun lunak, silinder uji dipasang dengan posisi horisontal. Pengujian dilakukan dengan mengukur displasemen yang terjadi pada silinder akibat adanya pembebanan secara terus menerus selama proses percobaan, hasil sinyal strain gauge dan displasemen transduser dibaca langsung oleh komputer, sebagian hasil pengujian ditunjukkan dalam gambar 2.11.



Gambar 2.11. Beberapa hasil pengujian Wolfram dan Theophanatos

Oleh Andreas Theophanatos(1988) <sup>(9)</sup> dibuat suatu tabel rangkuman yang memuat hasil-hasil penelitian tentang pengaruh kekasaran silinder, tabel 2.2 merupakan rangkuman penelitian di laboratorium, tabel 2.3 merupakan rangkuman penelitian di lapangan.

Tabel. 2.2. Rangkuman Penelitian di laboratorium

Reference	Type of flow	Roughness	k/D	Re( $\times 10^3$ )	KC	Cd	Cm
Nath	Steady	artificial kelp	-	0.2-4.2		1.5-4	
	Waves		-	0.4-2.5	3-25	1.5-6	2.5-4
	Waves		-	1.0-6.0	4-28	1.3-3.5	2.2-4
Nath, et al	Steady	Barnacles	0.11	0.4-4.5	-	1.2-1.4	-
	Waves			1.2-1.7	8.25	1.1-1.5	1.5-2.3
Nath	steady	Mixed hard	0,037	0.8-7.0		1.04	
	Waves + Current	Fouling		0.8-50	15-25	1.0-1.5	1.2-2.2
Nath	Steady Waves	Artificial	0.09	0.4-4.0		1.2-1.4	
	Horizontal Cyl	marine			15-25	1.52	1.73
	Vertical Cyl.	roughness			15-25	2.4	3.02
Miller	Steady (wind tunnel)	Barnacles	0,048	1.0-16.0		1.16	
Cash	Waves	Plastic sea weeds			2-15	55-120 % of Cd smooth	
Norton, et al	Steady	OTS	0,024	3.0-12		1.2	
Blumberg & Rigg	Steady	Oyster Shells	0,015	10-60		0.88	
		Oyster and Concrete chips	0,04	10-60		1.02	
Sarpkaya	Harmonic	Barnacles	0,02	0.3-8.4	4-60	1.42-2.42	0,49-1,48
Rodenbusch & Gutierrez	Harmonic/2D random	Conical Frusta	0.02	4.4-17.5	3-90	0.85-2.5	0,96-2.0

Tabel 2.3 Hasil Pengamatan dilapangan

Reference	Project	Roughness	k/D	Re( $\times 10^5$ )	KC	Cd	Cm
Heldeman, et al	OTS-Gulf of Mexico	0.5-1 " Barnacless	0,025	2-6	6-45	0.8-3.0	1.25-1.43
Bishop, et al	CBT	kelp	0.8-1.7	-	10-30	1.05-1.2	1,75-2,4
Ohmart & Crattz	Gulf of Mexico	38 mm-8.5 cm	0,09	3-30		0,7	1.7-2,0
Llyod R.S	Fortles FB	Clean		2,25-3,4	5-12	0,9-2.0	0,95-2,0

Penelitian Theophanatos sendiri, menggunakan beberapa macam bahan untuk model kekasaran pada silinder. Hasil penelitiannya diantaranya menyimpulkan bahwa marine growth memberikan arti dalam meningkatkan beban hidrodinamik, peningkatan gaya drag tergantung pada ketebalan dan ukuran elemen kekasaran, prosentase penutupan permukaan, distribusi, ketidakseragaman ketebalan dan orientasi pada arah arus.





BAB III  
METODOLOGI  
PENELITIAN



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Studi Literatur**

Untuk mencapai tujuan penelitian yang diinginkan, langkah pertama dari pengerjaan tugas akhir ini adalah melakukan studi literatur, terutama yang berhubungan dengan penelitian mengenai pengaruh kekasaran permukaan pipa yang pernah dilakukan/dipublikasikan, hal ini berguna sekali dalam rangka menempatkan kedudukan pengujian yang akan dilakukan oleh penulis terhadap hasil penelitian lain yang telah dipublikasikan tersebut.

Studi literatur ini juga berguna dalam rangka memperjelas dasar pemikiran dan teori yang akan digunakan serta langkah-langkah yang semestinya dilakukan pada saat pengujian di laboratorium hidrodinamika.

Dari beberapa literatur yang ada, ternyata informasi mengenai pengaruh kekasaran permukaan pipa akibat adanya marine growth terhadap gaya inersia pada struktur ramping akibat gelombang masih sangat terbatas dan pada umumnya kurang menjadi perhatian utama. Alasan utama mengenai hal tersebut adalah jarang struktur ramping yang memenuhi asumsi Morison, khususnya bangunan lepas pantai jenis bangunan tetap, berada di daerah yang didominasi gaya inersia. Meskipun demikian, ada juga bangunan laut, terutama yang berada disekitar pantai, misalnya terminal muat gas alam cair, yang memenuhi asumsi Morison tetapi berada didaerah yang didominasi gaya inersia.

### 3.2. Persiapan Percobaan

#### 3.2.1. Peralatan Percobaan

Untuk mendapatkan hasil pengujian yang sempurna, sudah tentu sebelum dilaksanakannya proses pengujian harus dilakukan persiapan-persiapan yang matang, diantaranya mengenai peralatan dan bahan yang akan dipakai dalam percobaan. Beberapa peralatan uji yang dipakai dalam eksperimen ini diantaranya :

##### 1. Pipa Uji

Pemilihan dimensi pipa uji dilakukan dengan acuan bahwa dimensi pipa uji tidak menimbulkan difraksi, yaitu  $D/\lambda < 0.2$ . Untuk memperoleh kekakuan yang mendekati pipa sebenarnya dipilih PVC tipe AW 3" yang mempunyai ketebalan yang memenuhi syarat rigiditas, diameter pipa uji 3.5 inci atau sama dengan 8.89 cm.

Panjang pipa secara keseluruhan adalah 138 cm, terdiri dari 3 bagian, bagian pertama sepanjang 19 cm untuk tempat penjepitan pipa sebelah atas, bagian kedua sepanjang 100 cm merupakan bagian utama dari pipa yang diuji dan bagian ketiga sepanjang 19 cm untuk tempat penjepit pipa bagian bawah.

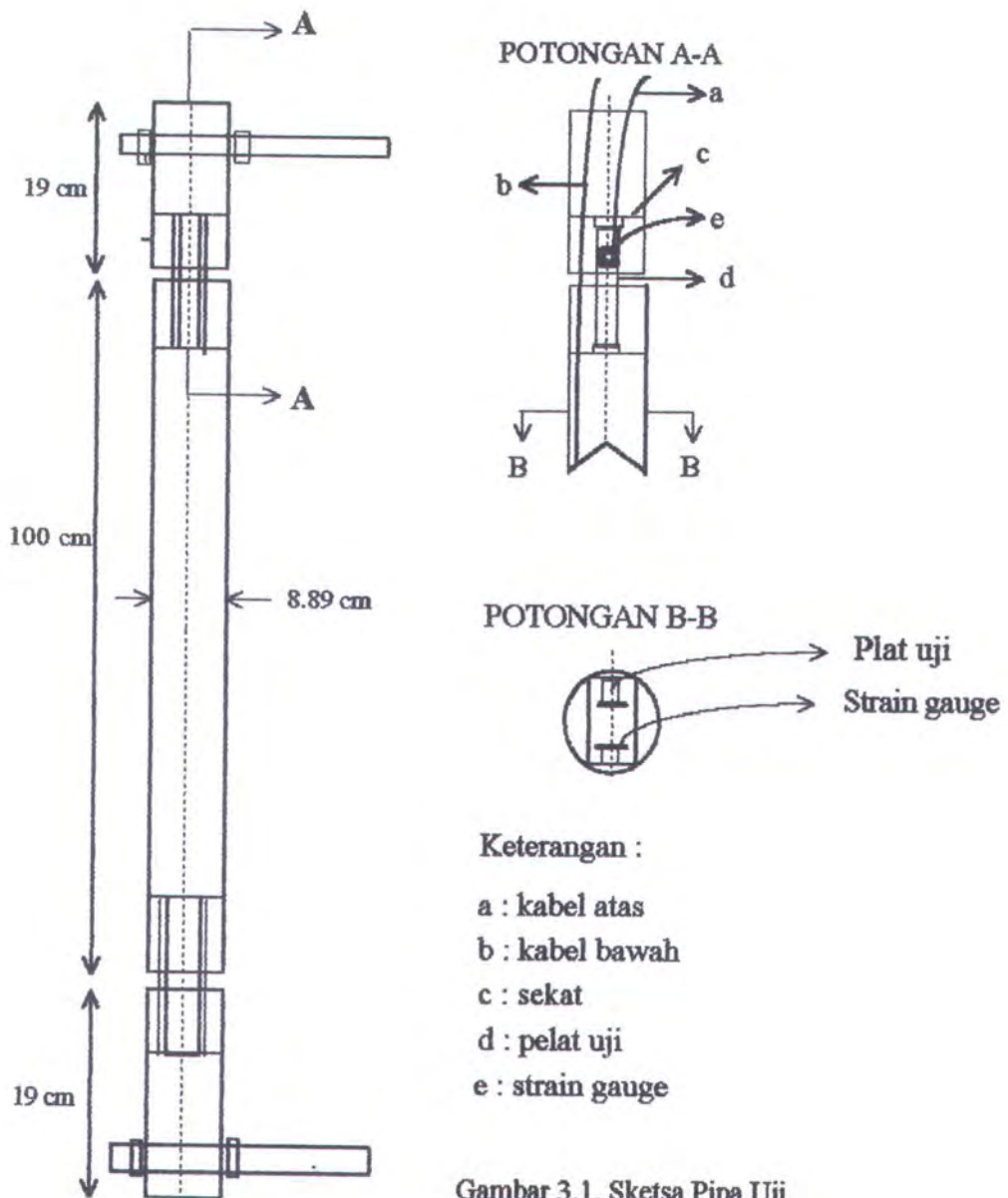
Ujung pipa yang berlubang (bagian atas dan bawah), ditutup dengan penyekat dari plat PVC sehingga rata, penyekat ini dilas dengan las plastik (PVC) pada pipa utama atau pada tempat penjepit pipa sehingga cukup kuat.

Penyambungan antara sekat dan pipa uji digunakan las-lasan plastik, sambungan diusahakan sekuat mungkin, karena sekat yang disambungkan pada pipa harus mampu menahan beban (tidak boleh bergerak) pada waktu dilakukan pengujian.

Strain gauge dilekatkan pada plat uji dengan menggunakan lem khusus (lem Z.70), badan strain gauge berhubungan dengan plat uji, sedangkan kedua ujungnya



dihubungkan ke amplifier. Pada saat terakhir pemasangan, strain gauge dilapisi silikon sebagai lapisan kedap air, sketsa pipa uji dapat dilihat pada gambar 3.1.



Plat uji yang digunakan untuk melekatkan strain gauge terbuat dari plat kuningan, karena mempunyai sifat elastis dan anti korosif yang baik, plat uji dihubungkan secara jepit dengan penyekat (pada sisi pipa utama), sedangkan pada

sisi tempat penjepit penyekat dihubungkan permanen, pada sambungan antara bagian pertama dengan bagian kedua dan sambungan ketiga, dilekatkan strain gauge yang akan mengukur beban gelombang.

Strain gauge yang dipasang dengan rangkaian half bridge, masing-masing bagian atas dan bawah terpasang 2 buah strain gauge type YL II dengan impedansi 60/120 ohm. Respon yang diterima strain gauge adalah akibat adanya perubahan regangan pada plat uji karena terkena beban saat pengujian.

Pipa uji yang dipakai dalam eksperimen ini menggunakan pipa yang sudah ada di laboratorium hidrodinamika Fakultas Teknologi Kelautan ITS.

## **2. Model Tumbuhan Laut**

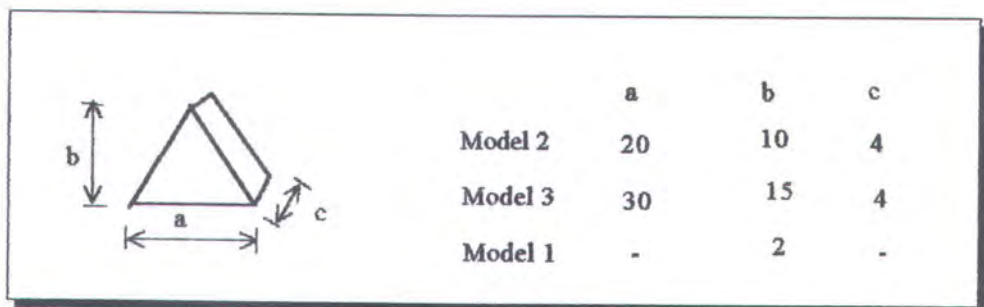
Model tumbuhan laut dalam pengujian ini dibuat dengan tiga macam model kekasaran, yang diasumsikan merata sepanjang pipa, bahan dibuat dari karet dengan maksud agar dapat dibentuk dengan mudah sesuai dengan keinginan kita, selain itu berat yang timbul bisa seringan mungkin, sehingga tidak menimbulkan pembebanan yang berarti pada strain gauge.

Bentuk kekasaran yang dipakai dalam pengujian ini adalah berbentuk segitiga sama kaki, yang ditempelkan dengan teratur, sehingga saat ditempelkan pada pipa uji mempunyai bentuk piramid, ketinggian segitiga tersebut masing-masing adalah 1 dan 1.5 cm, sedangkan untuk model yang ketinggiannya 2 mm, menggunakan lembaran-lembaran tipis dengan bentuk sembarang dan merata sepanjang pipa.

Masing-masing model tumbuhan laut mula-mula ditempelkan pada lembaran plastik, kemudian ditempelkan/diikatkan pada plat uji, hal ini dilakukan agar pipa uji

tidak perlu ditemplei langsung oleh model tumbuhan laut, juga supaya pelaksanaan percobaan lebih cepat dan praktis.

Saat model tumbuhan laut ditempelkan pada pipa uji, diameter efektif pipa adalah diameter awal ditambah dua kali ketebalan model kekasaran. Sketsa dari bentuk model dapat dilihat dalam gambar 3.2. dibawah ini



Gambar 3.2. Bentuk Model Kekasaran Yang Dipakai Pada Percobaan

### 3. Kolam Uji

Percobaan ini dilakukan di laboratorium hidrodinamika Fakultas Teknologi Kelautan ITS, ukuran kolam uji sebagai berikut :

Panjang : 55.0 m

Lebar : 3.0 m

Tinggi : 2.0 m

Sarat : 1.96 m (kedalaman air saat percobaan)

### 4. H.P. Personal Computer

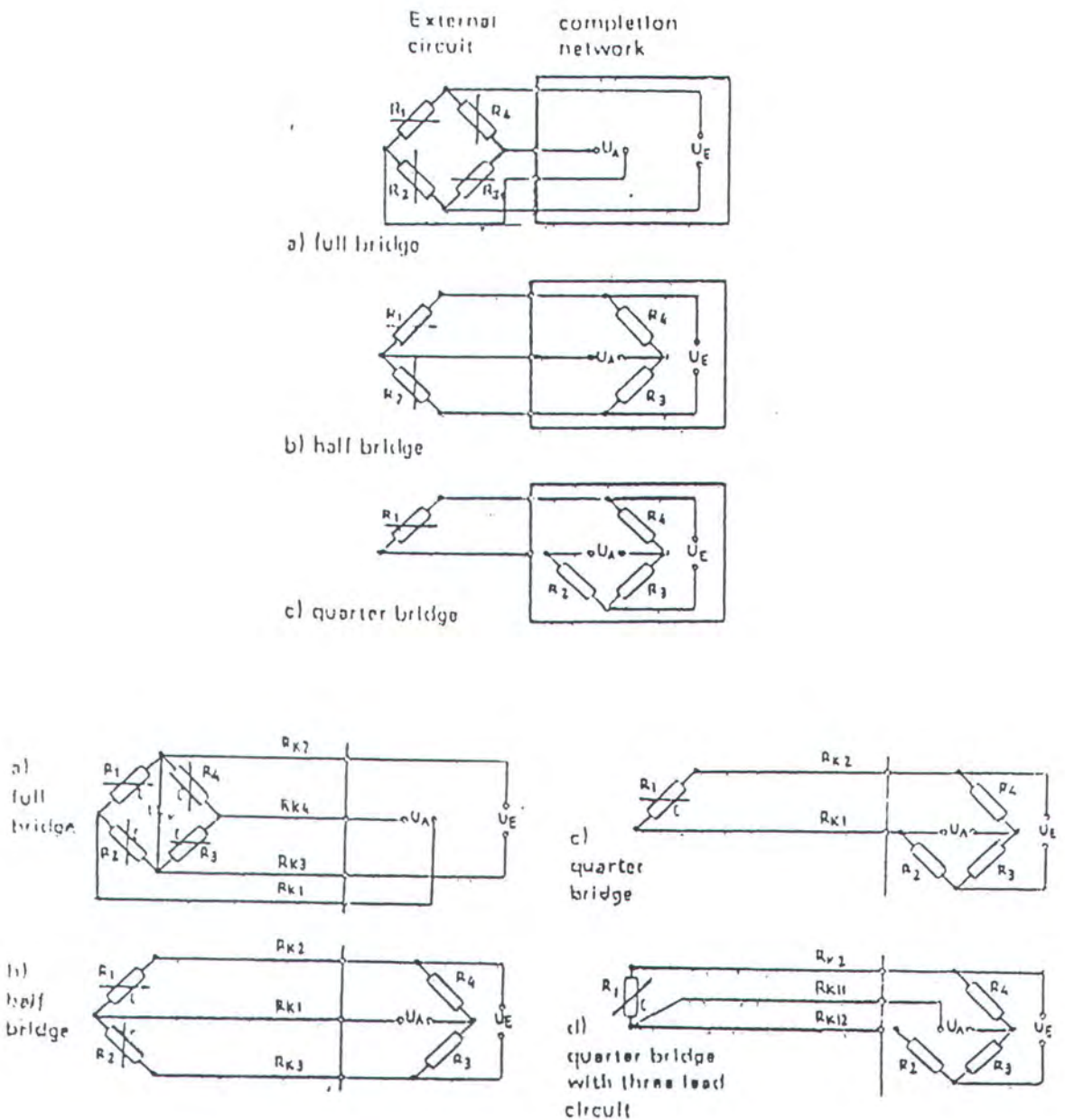
Perangkat komputer yang digunakan adalah Hawlett Packard Personal Computer, untuk mengendalikan semua kegiatan percobaan melalui suatu paket program.



## 5. Strain Gauge

Seperti yang telah disinggung diatas, alat ini dipasang pada kedua ujung pipa, yang berfungsi sebagai pengukur besarnya perubahan beban yang diakibatkan oleh beban gelombang , adapun prinsip kerjanya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Strain gauge dipasang pada plat uji, dimana plat uji berhubungan dengan pipa uji.
2. Pada waktu pipa uji (posisi vertikal) menerima gaya horisontal akibat gelombang, gaya ini terdistribusi pada plat uji dimana strain gauge dipasang.
3. Akibat beban yang diterima plat uji, plat uji mengalami regangan. Prinsip ini mengikuti hukum *Hooke*, yaitu apabila suatu elemen menerima beban gaya, maka elemen tersebut akan mengalami perubahan panjang yang dinyatakan dengan angka strain, angka strain menunjukkan perbandingan panjang antara panjang elemen dengan panjang semula.
4. Regangan plat uji menyebabkan perubahan tahanan pada strain gauge.
5. Besarnya perubahan tahanan pada strain gauge dikirim ke amplifier untuk diperbesar sinyalnya.
6. Dari amplifier besarnya perubahan tahanan yang telah diperbesar sinyalnya dikirim ke Digital Analog System (DAS) 1600 atau ke stripchart recorder, sehingga besarnya perubahan dapat diketahui.



Gambar 3.3. Beberapa variasi strain gauge dan koneksinya dengan amplifier

## 6. Amplifier

Amplifier ini digunakan untuk membangkitkan sinyal-sinyal tegangan input yang dibutuhkan oleh rangkaian jembatan Wheatstone dan berguna untuk menangkap sinyal kembali serta memperbesar sinyal sehingga dapat dibaca, alat

yang digunakan ini dinamakan amplifier pengukur harga strain gauge, amplifier yang digunakan adalah HBM Amplifier tipe KWS 3072.

## 7. Pembangkit Gelombang

Sesuai dengan namanya alat ini digunakan sebagai pembangkit/pembuat gelombang. Pembangkit ini terdiri atas satu unit tenaga hidrolis dengan pendingin berupa minyak/air, tempat kerja dari peralatan hidrolik dan satu unit pengontrol. Unit pengontrol itu sendiri terdiri atas unit pengontrol pusat, pembangkit sinyal, limit analyser dan servo pengontrol.

## 8. Probe Gelombang

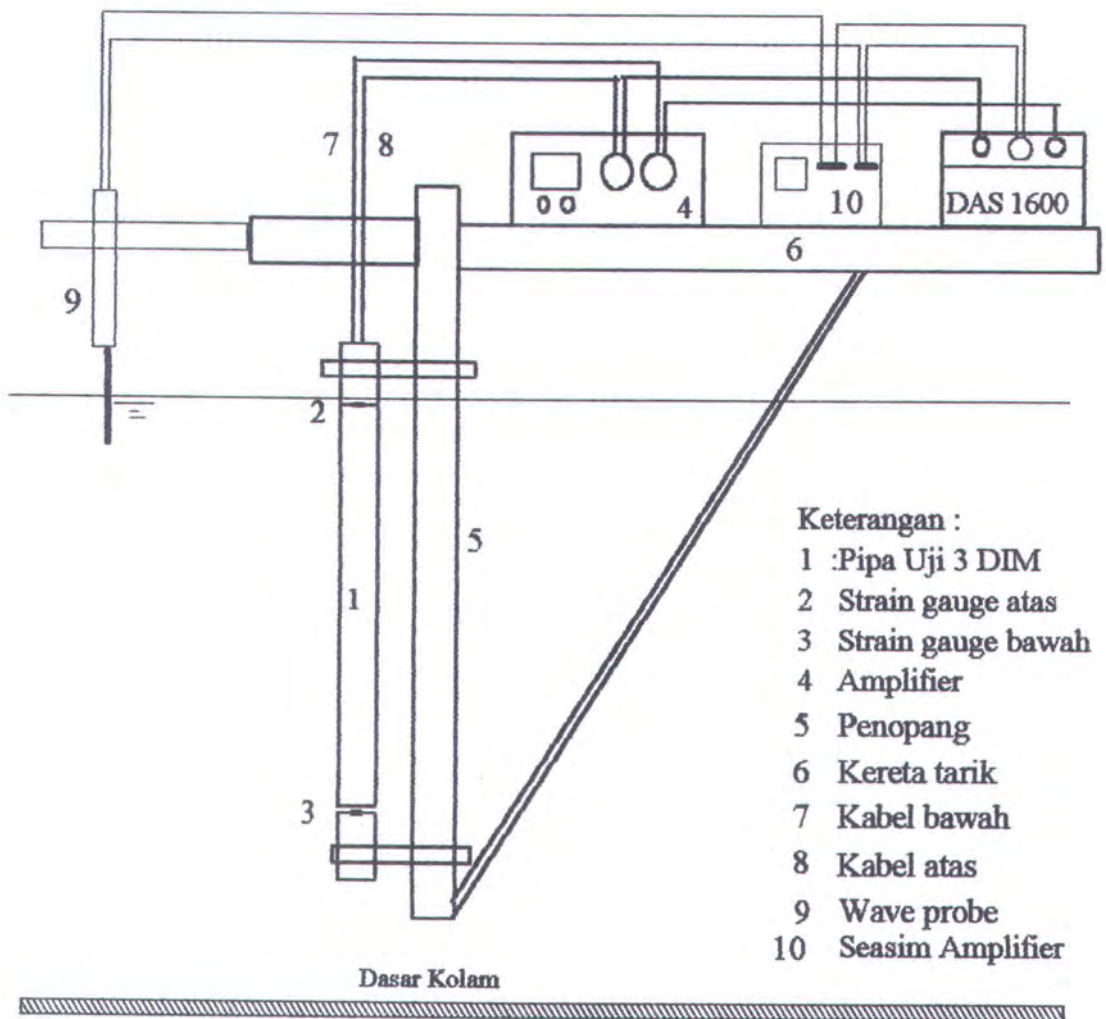
Probe yang digunakan mempunyai panjang 400 mm, terbuat dari baja tahan karat yang dilapisi alumunium. Tahanan dari kabel yang digunakan maksimum satu ohm.

## 9. Wave Gauge

Pengukur gelombang yang digunakan adalah *Seasim Auto Compensating*. Pada pengoperasiannya alat ini mempunyai dua mode, yaitu mode otomatis dan mode statik/kalibrasi, beberapa spesifikasi utama dari alat ini diantaranya adalah :

Output	: $\pm 10$ V ke dalam 10 ohm, melalui BNC socket yang ada di sisi belakang.
Frekuensi gelombang	: 0.2 - 10 Hz (pada mode auto)
Selang pengukuran	: 0 - 10 Hz (pada mode statik)
Kelinieran	: Rata-rata 95 % pada rangkaian probe 1 ohm. 99 % pada modul terisolasi.
Power suply	: 220 V - 240 V 50 Hz/110 V 60 Hz





Gambar 3.4. Sketsa Pipa Uji dan Peralatan liannya

### 3.2.2. Kalibrasi

#### 1. Kalibrasi Pipa Uji

Setelah peralatan uji terpasang seluruhnya, maka untuk menentukan besarnya gaya yang setara dengan volt yang terukur pada Digital Analog System (DAS) 1600

dilakukan kalibrasi, kalibrasi ini dilakukan untuk strain gauge atas dan bawah. Mengingat kalibrasi diatas air memberikan hasil yang lain dibandingkan dengan kalibrasi setelah benda uji dimasukan kedalam air, penyebab ketidaksemaan ini terutama karena adanya kemungkinan terjadinya beban-beban, baik tarik maupun tekan pada pada sistem pemegang benda uji.

Langkah-langkah kalibrasi pengukuran beban akibat gelombang untuk arah horisontal adalah sebagai berikut :

1. Pasang tali kecil/benang tepat di tengah bagian memanjang pipa uji, tali diikatkan tegak lurus terhadap sumbu tegak pipa uji pada roll ke satu lalu ditarik dan dikaitkan pada roll kedua.
2. Amplifier di hidupkan, setelah itu dipilih penguatan secukupnya, dilakukan pengecekan dengan menekan tombol 'check signal', kondisi amplifier adalah half bridge.
3. Pilih beberapa beban yang berurutan yang merupakan beban kalibrasi. Dengan mengikatkan tali tepat pada titik tengah memanjang pipa, maka beban kalibrasi pada kedua ujung sistem detektor akan sama.
4. Catat semua hasil kalibrasi dan pemakaian skala yang digunakan.
5. Lepaskan semua alat bantu kalibrasi.
6. Pipa uji siap untuk di uji.

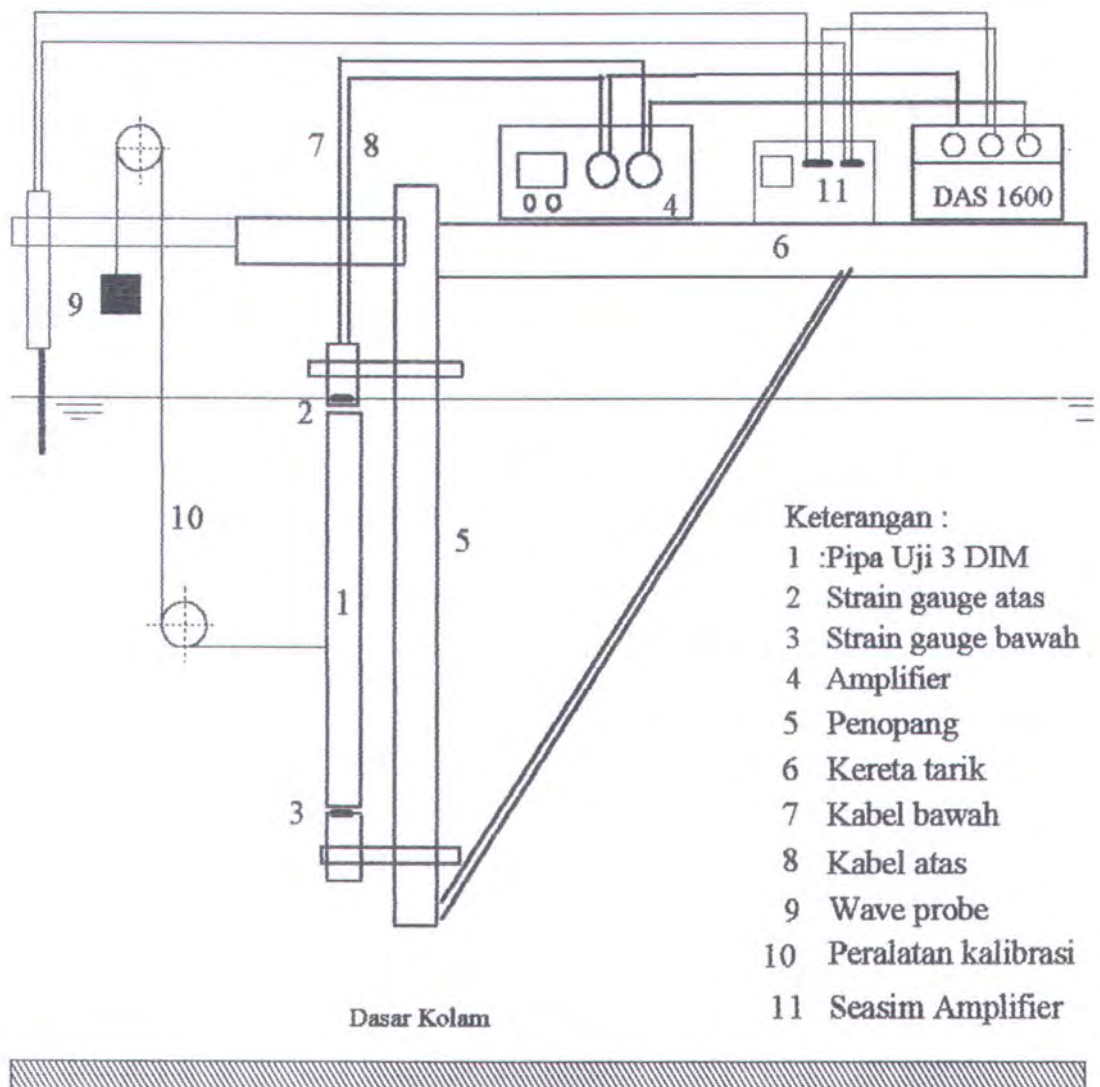
Pembebanan yang dilakukan pada kedua strain gauge masing-masing dimulai tanpa beban, kemudian diberikan beban yang berurutan sebesar 1 dan 2 kilogram.

## 2. Kalibrasi Gelombang

Kalibrasi gelombang dilakukan untuk mengetahui tinggi gelombang yang terjadi selama percobaan, sekaligus melakukan pengecekan terhadap gelombang apakah sesuai dengan input yang dikehendaki atau tidak pada alat pembangkit gelombangnya (*wave maker*).

Pada kalibrasi ini menggunakan seasm amplifier dan probe yang saling berhubungan, wave gauge dipasang ke posisi 'auto mode' dan saklar dihidupkan. Tunggu beberapa saat sampai voltase yang ditunjukkan voltameter menunjukan angka nol (atau mendekati nol), jika ini sudah tercapai, wave probe diubah ke posisi 'static mode'. Probe dimasukan kedalam kolam uji secukupnya, dan diukur kondisi nolnya, kemudian diangkat 5 cm ke atas dan dicatat hasil pembacaannya, setelah itu diturunkan sedalam 5 cm dari posisi nolnya, dalam menggerakan probe kearah atas dan bawah ini dilakukan secara perlahan-lahan agar tidak mengganggu ketenangan permukaan air, semua hasil pengukuran dapat dilihat melalui layar monitor Digital Analog System (DAS) 1600.





Gambar 3.5. Sketsa Peralatan Uji dan Peralatan Kalibrasi

### 3.2.3. Penentuan Syarat Batas

Karena dalam penelitian ini menggunakan beban gelombang, sudah barang tentu sebelumnya harus ditentukan dulu karakteristik gelombang yang akan dipakai, dalam hal ini karakteristik gelombang harus memenuhi batasan teori Morison dan berada dalam dominasi gaya inersia.

Dari data-data yang ada maka kita bisa menentukan syarat batas agar persamaan Morison dan dominasi gaya inersia terpenuhi, data-data yang sudah ada tersebut adalah :

- ♦ Diameter pipa uji (D) = 8.89 cm
- ♦ Kedalaman perairan (d) = 196 cm

Syarat agar persamaan Morison terpenuhi adalah :

$$D/\lambda \leq 0.2$$

$$8.89/\lambda \leq 0.2$$

$$\lambda \geq 44.45 \text{ cm}$$

Syarat agar gaya inersia lebih dominan dari gaya drag adalah :

$$H/D < 1.5$$

$$H/8.89 < 1.5$$

$$H < 13.35 \text{ cm}$$

atau dengan menggunakan persamaan :

$$D/w > 0.2 \quad \text{dimana } w = H/\tanh \frac{2\pi d}{\lambda}, \text{ untuk } d=196 \text{ cm dan } \lambda \geq 44.45 \text{ cm}$$

nilai  $w=H$  sehingga

$$D/H > 0.2$$

$$8.89/H > 0.2$$

$$H < 44.45 \text{ cm}$$

Dari batasan-batasan tersebut dan dengan mempertimbangkan kemampuan yang dimiliki oleh laboratorium hidrodinamika, kemudian dipilih karakteristik gelombang yang sesuai, dalam tabel 3.1 ditunjukkan pemilihan tinggi dan periode gelombang yang dipakai dalam pengujian.

Komponen kecepatan dan percepatan yang ada dalam persamaan Morison bisa diselesaikan dengan teori gelombang yang sesuai. Untuk mendapatkan teori gelombang yang sesuai ditentukan oleh harga-harga tinggi gelombang (H), priode gelombang (T) dan kedalaman perairan (d). Untuk keperluan tersebut dalam hal ini dipilih grafik batas-batas berlakunya teori gelombang menurut Le Mehaute seperti ditunjukkan dalam gambar 2.4. Untuk  $H = 4 \text{ cm} - 8 \text{ cm}$  ( $0.131 \text{ ft} - 0.264 \text{ ft}$ ) dan  $T = 1$  detik, maka harga  $H/T^2 = 0.131 \text{ ft/det}^2 - 0.264 \text{ ft}^2$  dan  $d/T^2 = 6.43 \text{ ft/det}^2$ , dari harga  $H/T^2$  dan  $d/T^2$  tersebut maka teori gelombang yang sesuai adalah stokes orde dua.

### 3.3. Proses Percobaan

Dalam pengujian ini, untuk membangkitkan gelombang yang sesuai dengan karakteristik yang diinginkan, digunakan komputer HP 36 B yang dihubungkan dengan perangkat *Analog System Dyna Test* yang akan menggerakkan wave maker. Adapun urutan pengerjaan pengujian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Urutan proses percobaan

No	Jenis Model	Tinggi Gelombang (cm)	Priode Gelombang (detik)
1	Silinder Bersih	4	1
2	Silinder Bersih	5	1
3	Silinder Bersih	6	1
4	Silinder Bersih	8	1
5	Silinder Model 1	4	1
6	Silinder Model 1	5	1
7	Silinder Model 1	6	1
8	Silinder Model 1	8	1



9	Silinder Model 2	4	1
10	Silinder Model 2	5	1
11	Silinder Model 2	6	1
12	Silinder Model 2	8	1
13	Silinder Model 3	4	1
14	Silinder Model 3	5	1
15	Silinder Model 3	6	1
16	Silinder Model 3	8	1

Selama proses pengujian, masing-masing tahap dilakukan perekaman data dengan jumlah dan rentang waktu yang sama, yang akan dibaca oleh strain gauge atas dan bawah dan probe gelombang, dalam hal ini jumlah data yang direkam untuk tiap langkah pengujian berjumlah 100 buah dengan rentang waktu pencatatan selama 5 detik.

### 3.4. Analisa Data Hasil Percobaan

Setelah percobaan selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa terhadap data yang diperoleh selama percobaan. Data-data tersebut dalam hal ini adalah hasil pembacaan strain gauge dan probe gelombang, data-data yang ada untuk setiap langkahnya kemudian dibuatkan rata-ratanya dan dengan mengalikan faktor kalibrasi akhirnya bisa diperoleh besarnya gaya yang dialami oleh pipa uji serta tinggi gelombang yang terjadi di kolam uji.

Untuk mengetahui besarnya koefisien inersia, sebelumnya dilakukan beberapa perhitungan, diantaranya percepatan gelombang. Hasil koefisien inersia tersebut kemudian dibuatkan grafik hubungannya dengan angka reynold, Keulegan Carpenter dan kekasaran relatif ( $k/D$ ). Hasil analisa data tersebut kemudian dibandingkan

dengan beberapa hasil pengujian yang telah dipublikasikan, sebagai langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

### **3.5. Pembuatan Laporan Akhir**

Setelah semua proses percobaan dan analisa data selesai dilakukan, langkah terakhir adalah membuat laporan akhir tentang semua yang telah dilakukan.





BAB IV  
HASIL DAN  
PEMBAHASAN



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil

##### 4.1.1. Hasil Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui besarnya gaya dan tinggi gelombang yang setara dengan volt yang terukur pada alat perekam data percobaan (Digital Analog System 1600). Kalibrasi pada pipa uji dilakukan pertama kali tanpa beban, kemudian diberikan beban yang berurutan sebesar 1 dan 2 kilogram. Hasil kalibrasi pipa uji dapat dilihat dalam tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1. Hasil kalibrasi beban pada pipa uji

Beban (kg)	Atas (Volt)	Bawah (Volt)
0	0,5	0
1	0,25	0,17
2	0,13	0,12

Dari harga kalibrasi tersebut, kita dapat menentukan besarnya gaya yang setara dengan 1 volt. Dengan memakai beban kalibrasi sebesar 1 kilogram maka :

untuk strain gauge atas      1 volt =  $1/0.25 = 4 \text{ kg}$

$$= 39.24 \text{ N}$$

untuk Strain gauge bawah      1 volt =  $1/0.17 = 5.8 \text{ kg}$

$$= 57.7 \text{ N}$$

Kalibrasi gelombang dilakukan dengan menggunakan seasim amplifier dan probe gelombang yang saling berhubungan. Hasil kalibrasi gelombang bisa dilihat dalam tabel 4.2 di bawah ini :

Tabel 4.2. Hasil kalibrasi gelombang

Posisi	Tinggi (cm)	Volt
Normal	0	0.01
Atas	5	-2.5
Bawah	5	2.5

Dari hasil kalibrasi tersebut dapat ditentukan tinggi gelombang yang terjadi pada tiap-tiap proses percobaan untuk posisi atas dan bawahnya yaitu :

$$1 \text{ volt} = 1/2.5 \times 5 = 2 \text{ cm}$$

#### 4.1.2. Hasil Percobaan

Data-data yang diperoleh dari percobaan merupakan hasil pembacaan strain gauge atas dan bawah serta probe gelombang. Setiap proses pengujian menghasilkan data sebanyak 100 buah dengan waktu pencatatan data selama 5 detik. Data-data tersebut selanjutnya dibuatkan nilai rata-ratanya untuk setiap langkah pengujian, hasil percobaan selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran A, secara garis besar nilai rata-rata hasil percobaan disajikan dalam tabel 4.3. di bawah ini :

Tabel 4.3. Nilai rata-rata hasil percobaan

Silinder	Strain gauge Atas (Volt)	Strain gauge bawah (Volt)	Seasim Positif (Volt)	Seasim Negatif (Volt)
Bersih				
H=4 cm	0,3567	-0,0864	0,6475	-0,3169
H=5 cm	0,3572	-0,0848	0,7643	-0,5380

H=6 cm	0,3620	-0,0869	0,9359	-0,4081
H=8 cm	0,3626	-0,0870	1,2972	-0,5301
Model I				
H=4 cm	0,3813	-0,0712	0,6308	-0,2809
H=5 cm	0,3929	-0,0725	0,8149	-0,4533
H=6 cm	0,3970	-0,0765	0,9719	-0,3640
H=8 cm	0,3993	-0,0766	1,2734	-0,3304
Model 2				
H=4 cm	0,4677	-0,0571	0,5301	-0,3743
H=5 cm	0,4692	-0,0597	0,7440	-0,3108
H=6 cm	0,4778	-0,0586	0,9335	-0,3809
H=8 cm	0,4825	-0,0598	1,2128	-0,4565
Model 3				
H=4 cm	0,4988	-0,0238	0,4877	-0,2691
H=5 cm	0,5109	-0,0241	0,6741	-0,3029
H=6 cm	0,5127	-0,0245	0,9041	-0,3339
H=8 cm	0,5158	-0,0251	1,1524	-0,4336

Dari nilai rata-rata hasil percobaan tersebut, ternyata hasil pembacaan strain gauge bawah hasilnya kurang akurat dan tidak sesuai dengan yang diharapkan, sehingga tanpa mengurangi tujuan dari penulisan tugas akhir ini, maka untuk analisa data selanjutnya hanya memakai data dari pembacaan strain gauge atas dan probe gelombang.

#### 4.1.3. Hasil Perhitungan

##### 4.1.3.1. Hasil Perhitungan Gaya Gelombang

Nilai rata-rata hasil percobaan untuk strain gauge seperti yang telah diuraikan diatas, setelah dikonversikan kedalam satuan kilogram, kemudian diubah menjadi satuan gaya (Newton) dengan cara mengalikannya dengan angka gravitasi, gaya yang



terjadi dalam hal ini adalah gaya inersia. Secara garis besar hasil perhitungan gaya gelombang bisa dilihat dalam tabel 4.4. dibawah ini :

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Gaya Gelombang

H Input (cm)	Fi (N/m)	H Input (cm)	Fi (N/m)
Silinder Bersih		Silinder Model 2	
4	13.99	4	18.35
5	14.01	5	18.41
6	14.21	6	18.74
8	14.32	8	18.93
Silinder Model 1		Silinder Model 3	
4	14.96	4	19.57
5	15.42	5	20.05
6	15.58	6	20.12
8	15.67	8	20.24

#### 4.1.3.2. Hasil Perhitungan Tinggi Gelombang dan Koefisien Inersia

Persoalan yang tak kalah pentingnya dalam rangkaian proses perhitungan hasil percobaan, adalah perhitungan tinggi gelombang yang terjadi di kolam uji. Hal ini terutama untuk memeriksa apakah output tinggi gelombang sesuai atau tidak dengan input yang diberikan. Karena tinggi gelombang yang terjadi akan sangat berpengaruh dalam menentukan besarnya kecepatan dan percepatan partikel air, yang pada akhirnya akan berpengaruh juga pada besarnya gaya yang dialami oleh pipa uji.

Perhitungan tinggi gelombang dilakukan dengan mengalikan nilai rata-rata hasil pembacaan probe gelombang dengan faktor kalibrasi gelombang.

Untuk menghitung besarnya koefisien inersia ( $C_m$ ) digunakan persamaan Morison untuk gaya inersia. Persamaan ini belum bisa digunakan sebelum diketahui besarnya percepatan partikel air yang terjadi, karena dalam persamaan ini ada komponen percepatan partikel air yang harus diselesaikan dulu. Dalam tabel 4.5. bisa dilihat besarnya tinggi gelombang, percepatan partikel air dan koefisien inersia.

Tabel 4.5. Hasil perhitungan H di kolam, percepatan partikel air dan  $C_m$

H Input (cm)	H di kolam (cm)	Percepatan (m/detik)	$C_m$
Silinder Bersih			
4	4.74	0,9382	2.4
5	5.21	1,0311	2.18
6	5.87	1,1618	1.97
8	7.31	1,4469	1.59
Silinder Model 1			
4	3.65	0,7225	3.05
5	5.07	1,0041	2.26
6	5.34	1,0577	2.17
8	6.42	1,2707	1.82
Silinder Model 2			
4	3.62	0,7160	2.74
5	4.22	0,8352	2.36
6	5.15	1,0193	1.97
8	6.68	1,3217	1.53
Silinder Model 3			
4	3.03	0,5992	2.94
5	3.91	0,7735	2.33
6	4.95	0,9802	1.85
8	6.34	1,2557	1.45

#### 4.1.3.3. Hasil Perhitungan Angka Reynold dan Keulegan Carpenter

Seperti telah diuraikan dalam bab II sub bab 2.1, harga koefisien inersia biasanya digambarkan versus angka Reynold atau Keulegan Carpenter. Angka Reynold selain dipengaruhi oleh kecepatan partikel air dan viskositas kinematis, juga dipengaruhi oleh besarnya diameter struktur, sedangkan angka Keulegan Carpenter dipengaruhi oleh besarnya kecepatan partikel air, diameter struktur dan periode gelombang. Hasil perhitungan kecepatan partikel air, angka Reynold dan Keulegan Carpenter bisa dilihat dalam tabel 4.6 di bawah ini :

Tabel 4.6. Hasil perhitungan kecepatan partikel air, Re dan KC

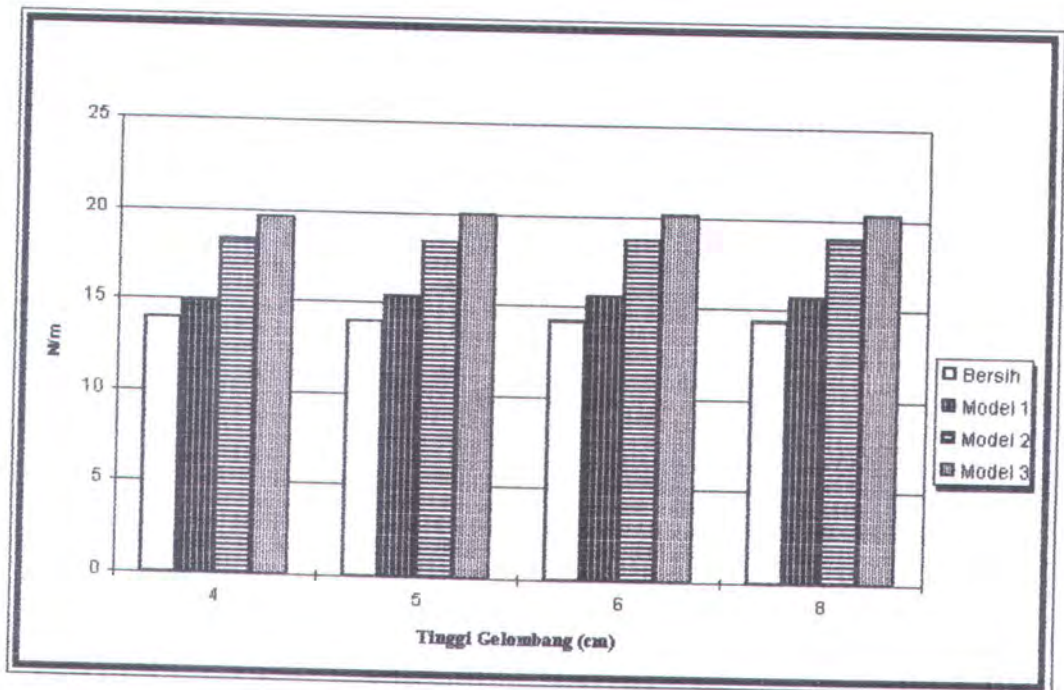
H di kolam (cm)	Kecepatan (m/det)	Angka Reynold (10E4)	KC
Silinder Bersih			
4.74	0,1491	1,552	1,68
5.21	0,1638	1,706	1,84
5.87	0,1846	1,922	2,08
7.31	0,2299	2,394	2,59
Silinder Model 1			
3.65	0,1148	1,222	1,29
5.07	0,1595	1,699	1,8
5.34	0,1681	1,789	1,89
6.42	0,2019	2,150	2,27
Silinder Model 2			
3.62	0,1138	1,318	1,28
4.22	0,1327	1,537	1,49
5.15	0,1620	1,876	1,82
6.68	0,2100	2,432	2,36
Silinder Model 3			
3.03	0,0952	1,159	1,07
3.91	0,1229	1,496	1,38
4.95	0,1557	1,895	1,75
6.34	0,1996	2,428	2,25



## 4.2. Pembahasan

### 4.2.1. Pengaruh Kekasaran Terhadap Gaya Inersia

Dari hasil perhitungan diatas, terlihat bahwa gaya inersia semakin besar seiring dengan bertambahnya diameter efektif pipa akibat adanya kekasaran permukaan. Pada silinder bersih besarnya gaya yang terjadi berkisar antara 13.99 - 14.32 N/m. Dengan adanya penambahan diameter sebesar 4 mm (4.5 %), gaya inersianya antara 14.96 - 15.67 N/m (terjadi penambahan gaya inersia sebesar 6.93 % - 9.4 %), sedangkan untuk penambahan diameter pipa sebesar 2 cm (22.5 %) gaya inersianya menjadi 18.35 - 18.93 N/m (terjadi penambahan gaya inersia antara 31.17 % - 33.03 %), untuk penambahan diameter pipa sebesar 3 cm (33.75 %) gaya inersia menjadi 19.57 - 20.24 N/m (terjadi penambahan gaya antara 39.88 % - 42.23 %). Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa kekasaran permukaan cukup berpengaruh terhadap gaya inersia. Untuk lebih jelasnya, pada halaman berikut dalam gambar 4.1, bisa dilihat besarnya perubahan gaya inersia tersebut akibat adanya kekasaran permukaan.



Gambar 4.1. Gaya Inersia untuk silinder bersih dan kasar

#### 4.2.2. Hubungan Koefisien Inersia Dengan Angka Reynold

Dari hasil perhitungan, dapat digambarkan hubungan koefisien inersia dengan angka reynold. Dalam gambar 4.2 sampai 4.5 bisa dilihat bagaimana kecenderungan koefisien inersia terhadap angka reynold untuk masing-masing pipa uji.

Pada gambar 4.2, terlihat bahwa koefisien inersia untuk silinder bersih mula-mula turun secara perlahan dari 2.4 pada angka Reynold  $1.55 \times 10^4$  menjadi 1.97 pada angka Reynold  $1.758 \times 10^4$ , setelah itu tampak turun agak tajam menjadi 1.59 pada angka Reynold  $2.39 \times 10^4$ .

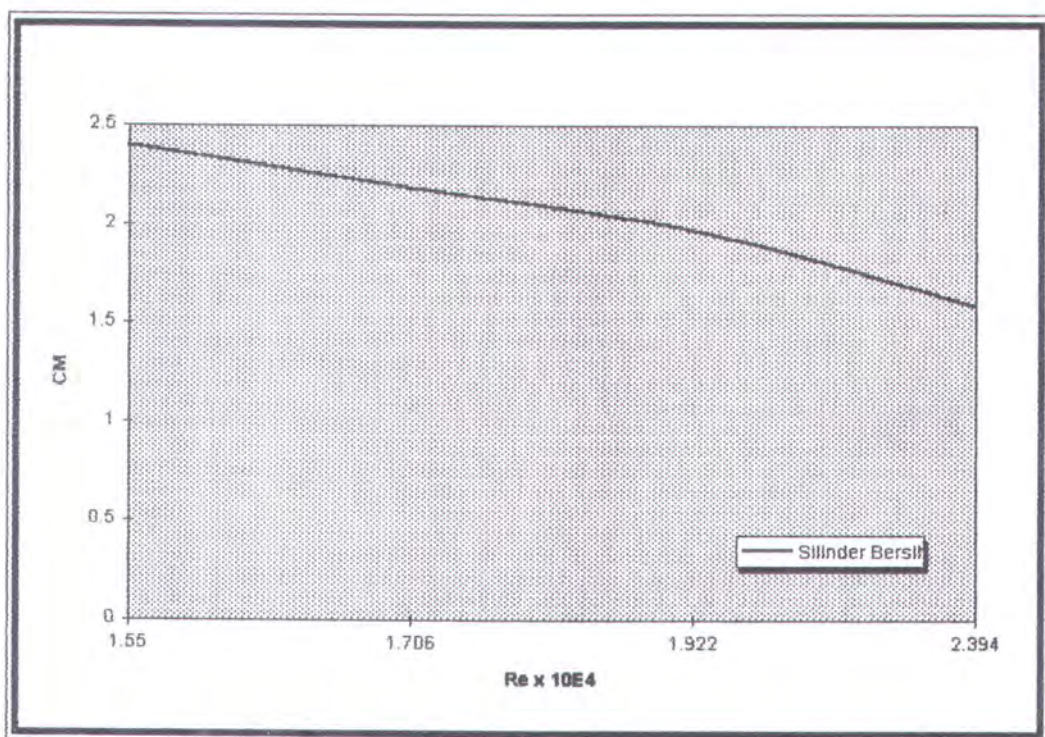
Untuk silinder model 1, pada gambar 4.3 tampak bahwa mula-mula koefisien inersia turun dengan tajam sampai angka Reynold  $1.69 \times 10^4$ , kemudian sampai dengan angka Reynold  $1.789 \times 10^4$  turun sangat perlahan bahkan tampak seperti konstan dari nilai 2.26 sampai 2.17, setelah itu koefisien inersia turun sampai 1.8 pada angka Reynold  $2.15 \times 10^4$ .

Pada gambar 4.4 untuk silinder model 2, tampak bahwa bentuk grafiknya linier, besarnya koefisien inersia turun secara teratur dari 2.74 pada angka Reynold  $1.31 \times 10^4$  hingga 1.53 pada angka Reynold  $2.43 \times 10^4$ .

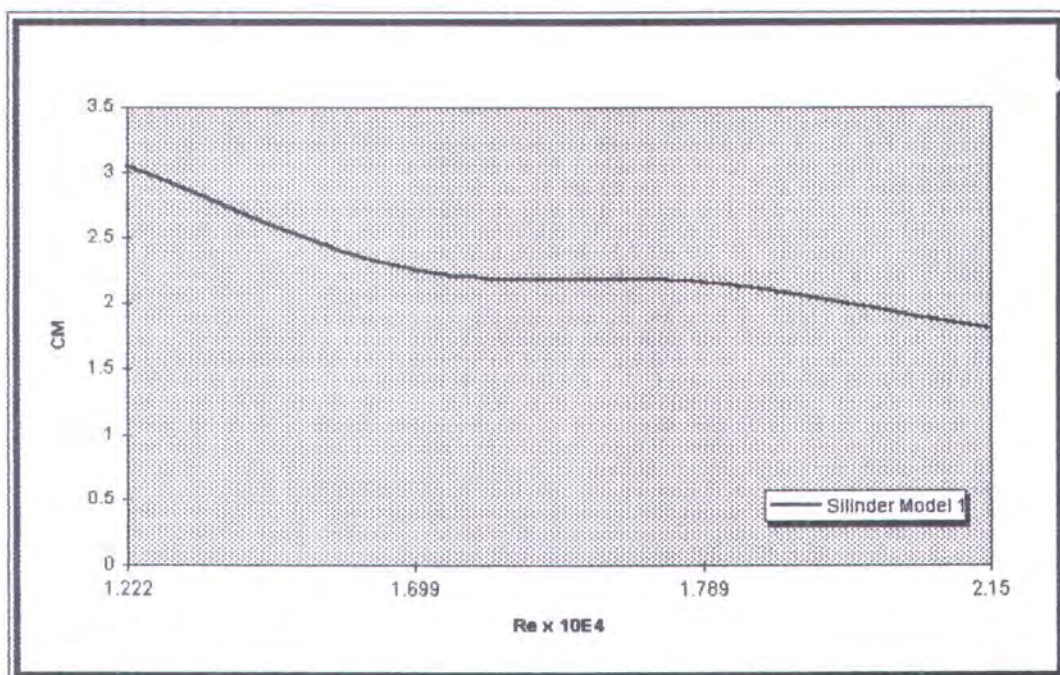
Sedangkan untuk model 3, dalam gambar 4.5 terlihat bahwa bentuk grafiknya juga hampir linier sampai dengan angka Reynold  $1.89 \times 10^4$ , setelah itu penurunan harga koefisien inersia semakin kecil dari 1.84 menjadi 1.45 pada angka Reynold  $2.42 \times 10^4$ .

Secara keseluruhan terlihat bahwa koefisien inersia untuk masing-masing pipa uji cenderung semakin kecil untuk angka Reynold yang semakin besar.



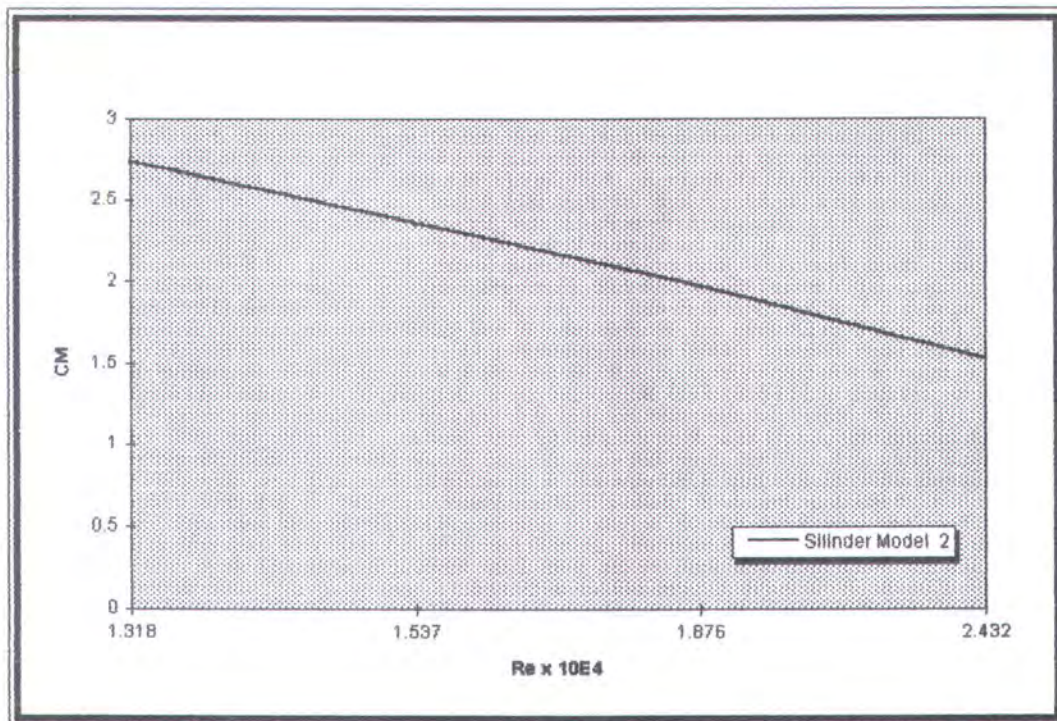


Gambar 4.2. Koefisien inersia versus angka Reynold untuk silinder bersih

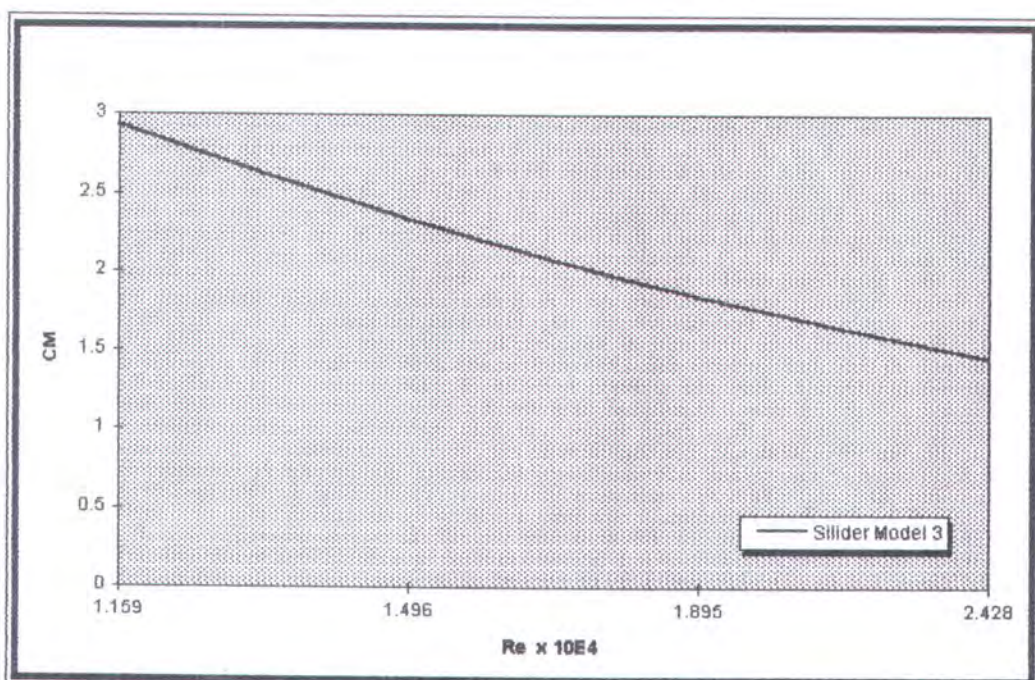


Gambar 4.3. Koefisien inersia versus angka Reynold untuk model 1





Gambar 4.4. Koefisien Inersia versus angka Reynold untuk model 2



Gambar 4.5. Koefisien Inersia versus angka Reynold untuk model 3

#### 4.2.3. Hubungan Koefisien Inersia Dengan Kekasaran Relatif

Dari gambar 4.6 sampai 4.10, tampak beberapa bentuk grafik hubungan antara koefisien inersia dengan kekasaran relatif untuk tiap-tiap input tinggi gelombang yang diberikan.

Pada gambar 4.6, untuk input tinggi gelombang 4 cm, tampak bahwa mula-mula koefisien inersia naik dari 2.4 pada silinder bersih menjadi 3.05 untuk silinder dengan kekasaran relatif 0.022, setelah itu tampak koefisien inersia mengalami perubahan yang tak beraturan, untuk kekasaran 0.112, harga koefisien inersia turun sampai 2.74 kemudian naik lagi menjadi 2.93 pada kekasaran relatif 0.168.

Pada gambar 4.7, untuk input tinggi gelombang sebesar 5 cm, koefisien inersia naik dari 2.18 pada silinder bersih menjadi 2.36 pada kekasaran relatif 0.112, setelah itu turun menjadi 2.33 pada kekasaran relatif 0.168.

Untuk input tinggi gelombang 6 cm, pada gambar 4.8 terlihat bahwa koefisien inersia mula-mula naik dari 1.97 pada silinder bersih menjadi 2.17 pada kekasaran relatif 0.022, setelah itu koefisien inersia turun terus menjadi 1.84 pada kekasaran relatif 0.168.

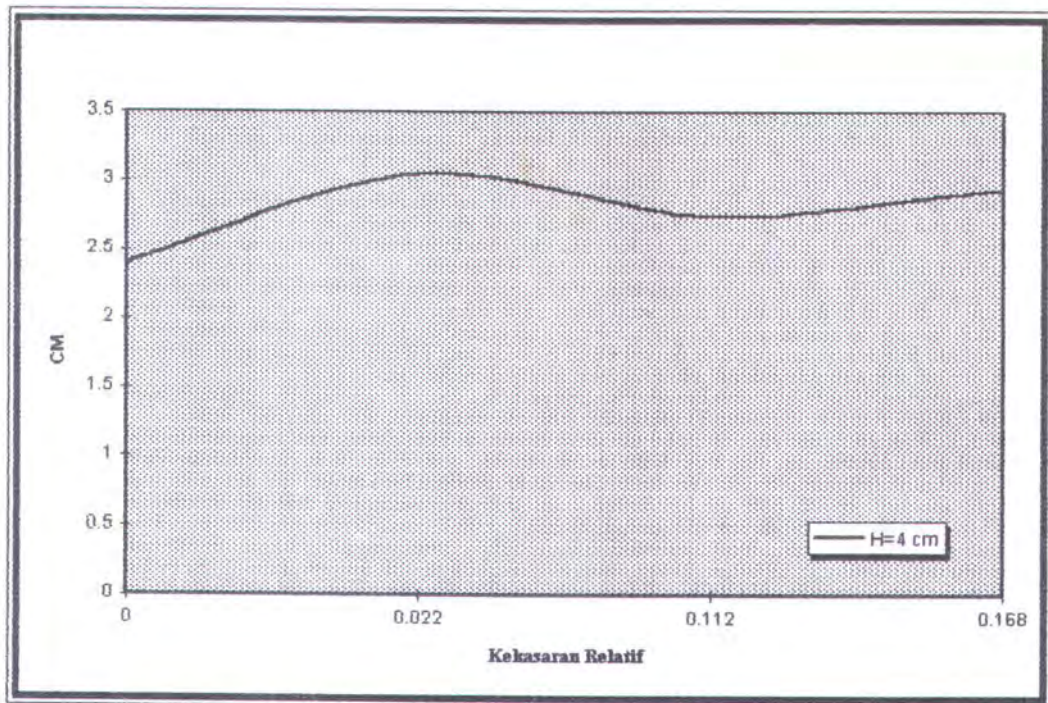
Sedangkan pada gambar 4.9, untuk input tinggi gelombang sebesar 8 cm, koefisien inersia mula-mula naik secara perlahan dari 1.59 pada silinder bersih menjadi 1.81 pada kekasaran relatif 0.022, setelah itu tampak turun secara perlahan menjadi 1.53 pada kekasaran relatif 0.112 dan 1.45 pada kekasaran relatif 0.168.

Dari hasil perhitungan dan gambar tersebut, tampak bahwa untuk pipa bersih (kekasaran relatif  $(k/D) = 0$ ) menghasilkan koefisien inersia yang lebih kecil dari pipa

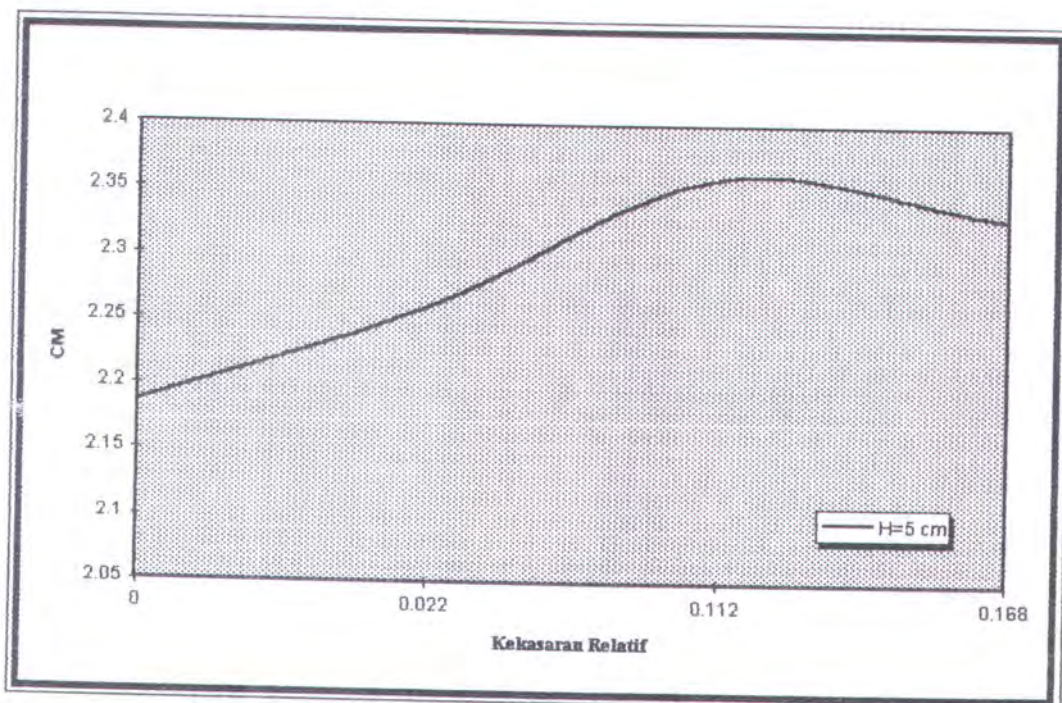


yang ada kekasarannya, kecuali untuk  $k/D = 0.11$  pada input tinggi gelombang 8 cm dan untuk  $k/D = 0.17$  pada input tinggi gelombang 6 dan 8 cm, besarnya koefisien inersia lebih kecil silinder bersih. Hal ini bisa dimaklumi karena penambahan gaya inersia yang terjadi tidak terlalu besar, selain itu terjadi ketidakkonsistenan dari output tinggi gelombang, dimana untuk silinder kasar tinggi gelombang yang terjadi selalu lebih kecil dari silinder bersih, perbedaan tinggi gelombang tersebut bisa dikarenakan ketidakmampuan dari wave maker untuk bekerja secara konstan.

Dari perhitungan, terlihat juga bahwa hasil perhitungan untuk silinder bersih (kekasaran relatif = 0) menghasilkan koefisien inersia ( $C_m$ ) sebesar 2.4 sampai 1.59. Besarnya harga koefisien inersia ini ternyata tidak sama dengan teori, menurut teori besarnya harga koefisien inersia untuk silinder bersih sebesar 2. Untuk tinggi gelombang 4 cm, perbedaan harga koefisien inersia sebesar 20 %, untuk tinggi gelombang 5 cm perbedaan tersebut sebesar 9 %, untuk tinggi gelombang 6 cm perbedaan tersebut sebesar -1.5 %, sedangkan untuk tinggi gelombang 8 cm perbedaan gaya inersianya sebesar -21 %. Karena besarnya koefisien inersia untuk silinder yang ada kekasarannya tidak bisa dibandingkan seperti pada silinder bersih, maka bila mengacu pada perbedaan-perbedaan yang terjadi pada silinder bersih tersebut, sudah barang tentu harus ada koreksi terhadap besarnya harga koefisien inersia untuk silinder yang ada kekasarannya ini.

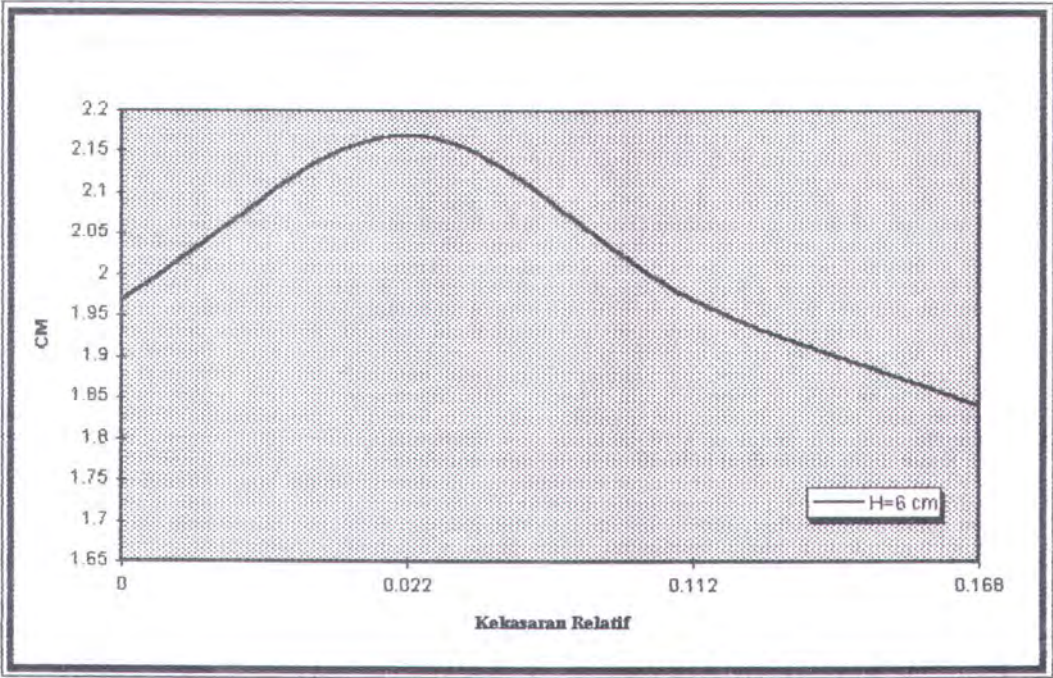


Gambar 4.6. Grafik hubungan  $C_m$  dengan kekasaran relatif untuk  $H$  input = 4 cm

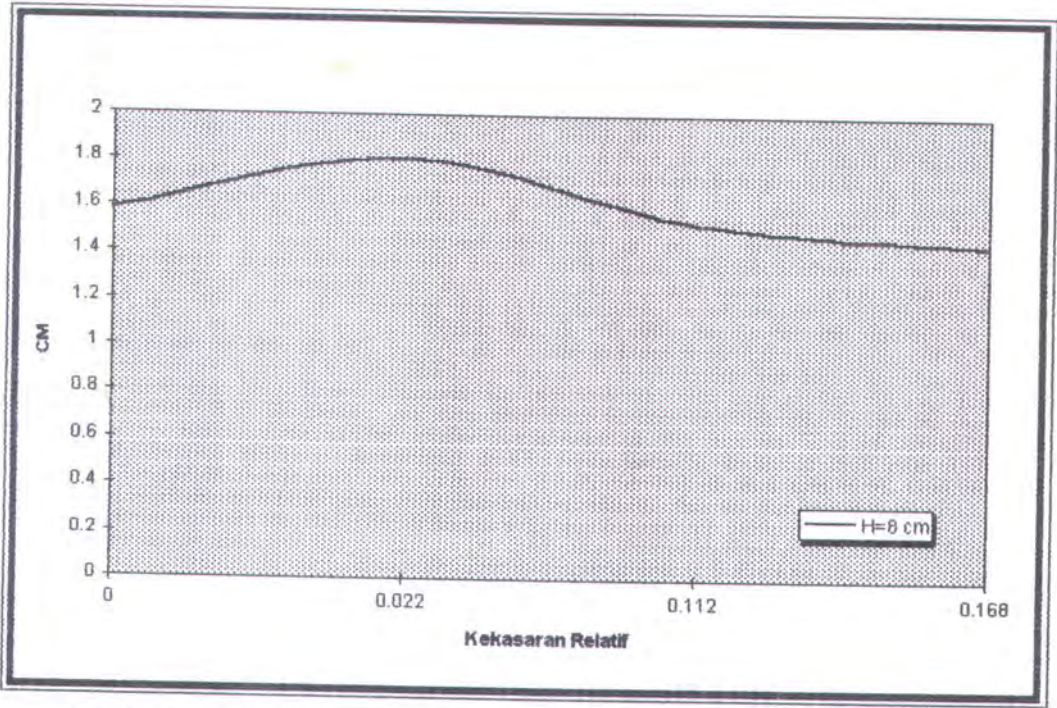


Gambar 4.7. Grafik hubungan  $C_m$  dengan kekasaran relatif untuk  $H$  input = 5 cm



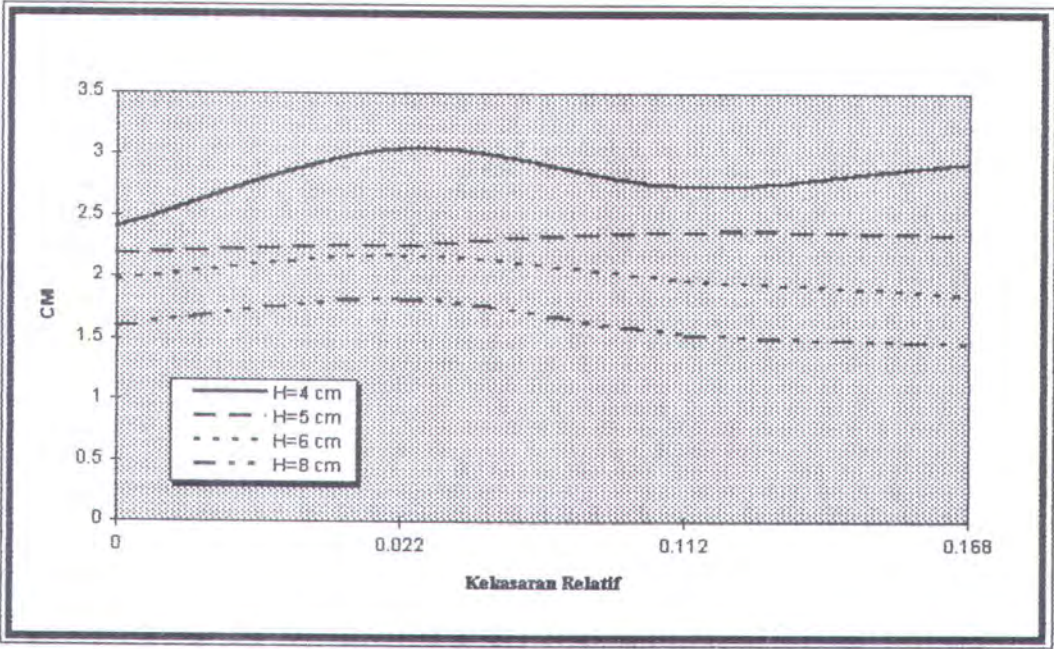


Gambar 4.8. Grafik hubungan  $C_m$  dengan kekasaran relatif untuk  $H$  input = 6 cm



Gambar 4.9. Grafik hubungan  $C_m$  dengan kekasaran relatif untuk  $H$  input = 8 cm





Gambar 4.10. Grafik hubungan  $C_m$  dengan kekasaran relatif

#### 4.2.4. Hubungan Koefisien Inersia Dengan angka Keulegan Carpenter

Seperti halnya hubungan koefisien inersia dengan angka Reynold, hubungan koefisien inersia dengan angka Keulegan Carpenter (KC) pun memberikan fenomena yang sama. Gambar 4.11 sampai 4.14 menggambarkan hubungan koefisien inersia dengan angka Keulegan Carpenter.

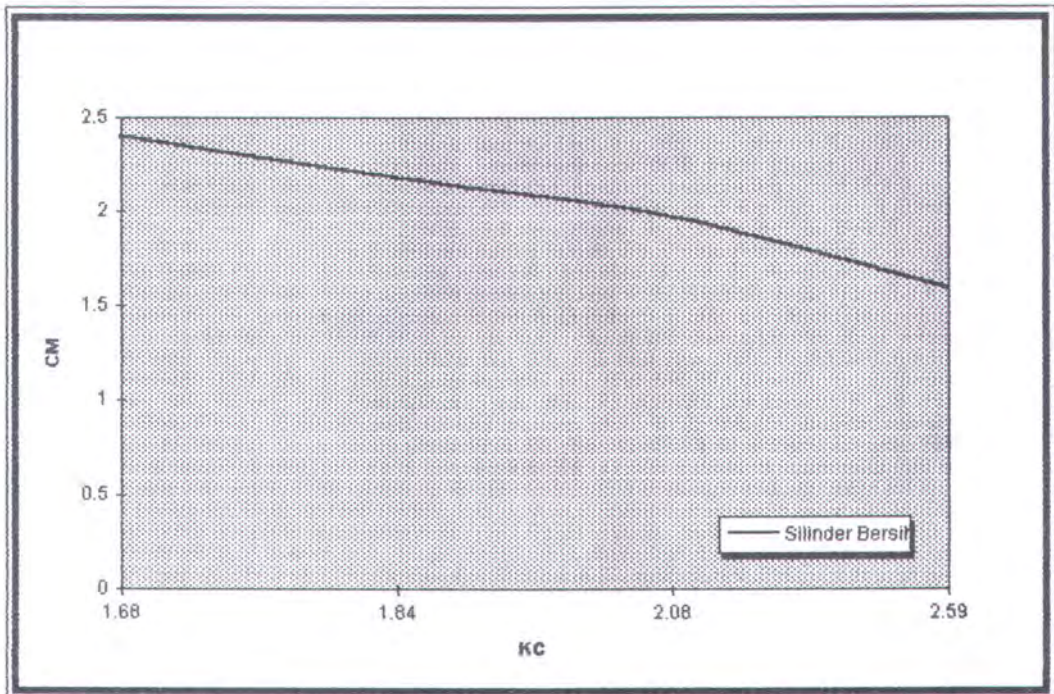
Pada gambar 4.11, terlihat bahwa koefisien inersia untuk silinder bersih mula-mula turun secara teratur dari 2.4 pada angka KC 1.68 menjadi 1.97 pada angka KC 2.08, setelah itu tampak turun agak besar menjadi 1.59 pada angka KC 2.59.

Untuk silinder model 1, pada gambar 4.12 tampak bahwa mula-mula koefisien inersia turun dengan tajam sampai angka KC 1.8, kemudian sampai dengan angka KC 1.69 turun sangat perlahan bahkan tampak seperti konstan dari nilai 2.26 sampai 2.17, setelah itu koefisien inersia turun sampai 1.8 pada angka KC 2.27.

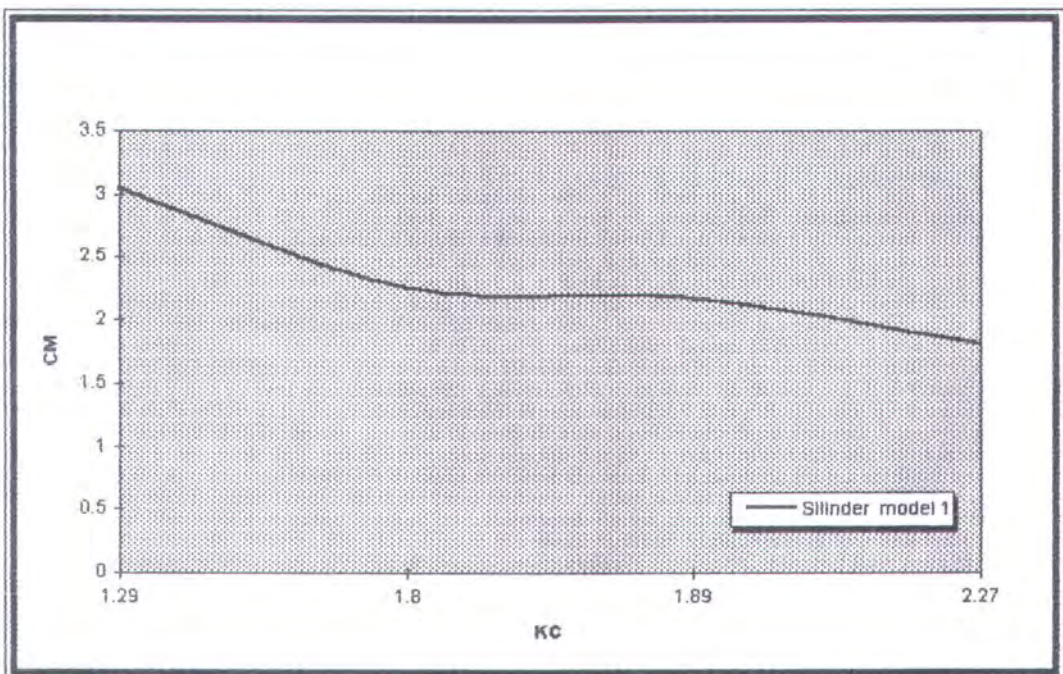
Pada gambar 4.13 untuk silinder model 2, tampak bahwa bentuk grafiknya linier, besarnya koefisien inersia turun secara teratur dari 2.74 pada angka KC 1.28 hingga 1.53 pada angka KC 2.36. Sedangkan untuk model 3, dalam gambar 4.14 bentuk grafiknya juga hampir linier sampai dengan angka KC 1.75, setelah itu penurunan harga koefisien inersia semakin kecil dari 1.84 pada angka KC 1.75 menjadi 1.45 pada angka KC 2.25.

Secara keseluruhan terlihat juga bahwa koefisien inersia untuk masing-masing pipa uji cenderung semakin kecil untuk angka Keulegan Carpenter yang semakin besar.



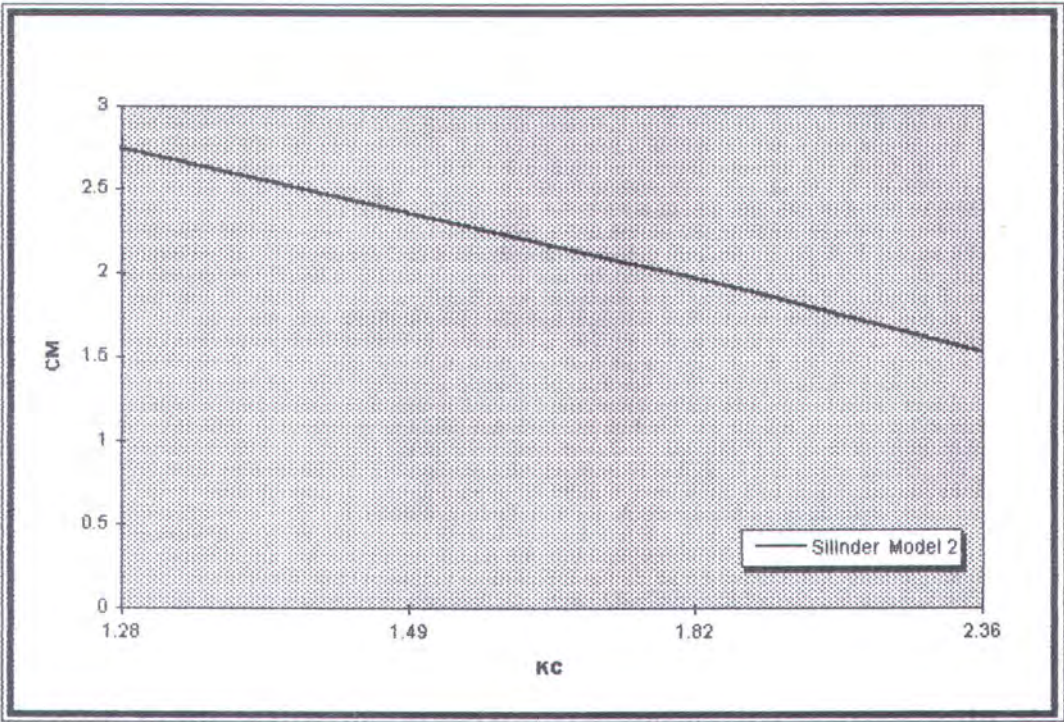


Gambar 4.11. Grafik hubungan koefisien Inersia dengan KC untuk silinder bersih

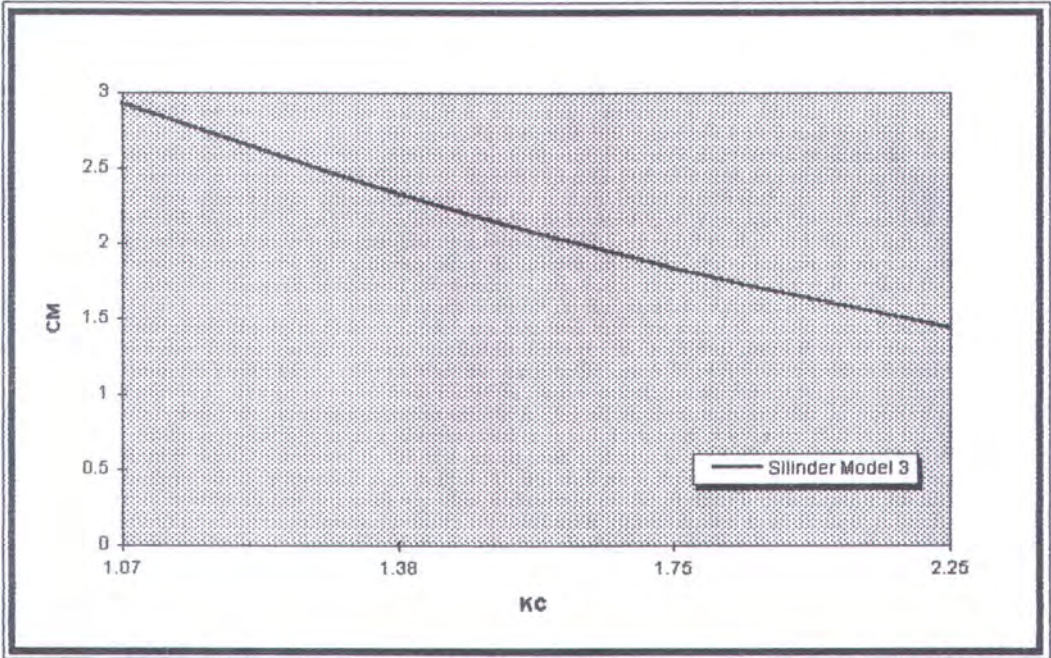


Gambar 4.12. Grafik hubungan koefisien Inersia dengan KC untuk model 1





Gambar 4.13. Grafik hubungan koefisien Inersia dengan KC untuk model 2



Gambar 4.14. Grafik hubungan koefisien Inersia dengan KC untuk model 3

#### 4.3. Perbandingan Hasil Pengujian Dengan Pengujian Yang Telah Dipublikasikan

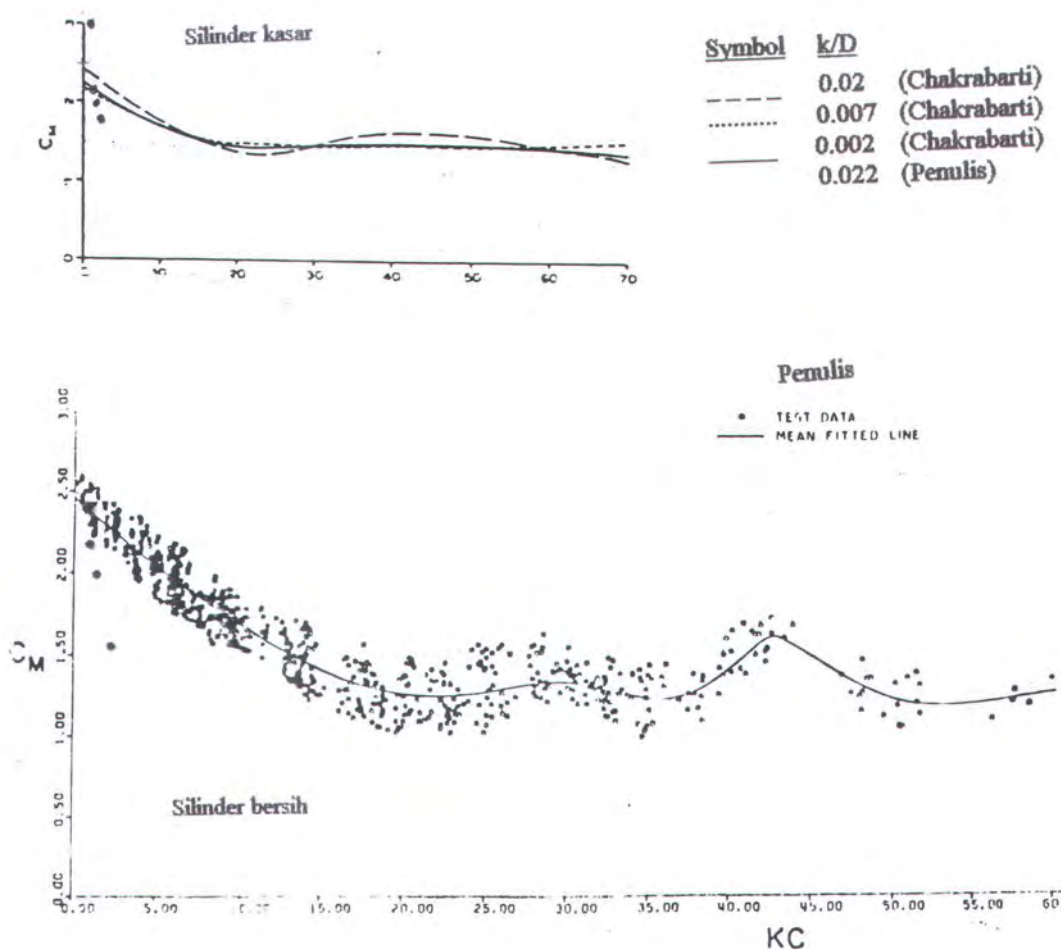
Sebagaimana telah disinggung didepan, bahwa penelitian mengenai pengaruh kekasaran permukaan pipa akibat gelombang yang didominasi gaya inersia masih sangat terbatas, literatur yang ada pada umumnya diberikan untuk dominasi gaya drag, selain itu percobaan juga pada umumnya dilakukan pada rentang angka Reynold dan Keulegan Carpenter yang besar, sedangkan penelitian ini dilakukan untuk angka Reynold dan Keulegan Carpenter yang rendah dan didominasi oleh gaya inersia, sehingga perbandingan dengan hasil penelitian lain yang telah dipublikasikan agak sedikit mengalami kesulitan, meskipun demikian hasil eksperimen ini akan tetap dicoba untuk dibandingkan dengan beberapa hasil pengujian yang ada.

Chakrabarti <sup>(1)</sup> dalam penelitiannya terhadap pengaruh kekasaran permukaan pipa akibat gaya gelombang, menemukan bahwa untuk silinder bersih bila koefisien inersia bertambah besar maka koefisien drag akan semakin kecil atau sebaliknya untuk rentang angka KC yang sama, pengujian dilakukan dalam rentang angka Keulegan Carpenter yang cukup besar yaitu antara 0 - 85, sedangkan pengujian yang dilakukan oleh penulis rentang angka KC cukup kecil (lebih kecil dari 3), besarnya koefisien inersia hasil pengujian chakrabarti untuk silinder bersih ini berkisar antara 0.5 - 2.6, sedangkan hasil penulis berkisar antara 1.58 - 2.4.

Untuk silinder yang ada kekasarannya, Chakrabarti menggunakan pasir sedangkan penulis menggunakan karet sebagai model kekasarannya, dari hasil pengujian yang dilakukan Chakrabarti untuk kekasaran relatif  $(k/D) = 0.02$  harga koefisien inersia berkisar antara 1.4 - 2.4 untuk rentang angka Keulegan Carpenter 0



- 70, sedangkan hasil pengujian penulis untuk kekasaran relatif 0.022 harga koefisien inersia berkisar antara 1.82 - 3.05 untuk rentang angka Keulegan Carpenter yang jauh lebih kecil, sedangkan untuk rentang angka KC yang sama, besarnya koefisien inersia hasil penelitian Chakrabarti berkisar antara 2.38 - 2.25, untuk lebih jelasnya perbandingan hasil eksperimen ini bisa dilihat dalam gambar 4.15 dibawah ini :



Gambar 4.15. Perbandingan hasil Pengujian dengan hasil Chakrabarti



Untuk lebih memperjelas hasil pengujian penulis dibandingkan dengan pengujian lainnya, maka tabel yang dibuat oleh Theophanatos seperti yang telah diuraikan dalam bab II, maka tabel 2.2. sebagian akan ditampilkan lagi dalam tabel 4.7. dibawah ini,

Tabel 4.7. Perbandingan dengan beberapa hasil pengujian

Reference	Type of flow	Roughness	k/D	Re( $\times 10^5$ )	KC	Cd	Cm
Nath	Steady	artificial kelp	-	0.2-4.2		1.5-4	
	Waves		-	0.4-2.5	3-25	1.5-6	2.5-4
	Waves + Current		-	1.0-6.0	4-28	1.3-3.5	2.2-4
Nath, et al	Steady	Barnacles	0.11	0.4-4.5	-	1.2-1.4	-
	Waves			1.2-1.7	8.25	1.1-1.5	1.5-2.3
Nath	steady	Mixed hard	0,037	0.8-7.0		1.04	
	Waves + Current	Fouling		0.8-50	15-25	1.0-1.5	1.2-2.2
Nath	Steady Waves	Artificial	0.09	0.4-4.0		1.2-1.4	
	Horizontal Cyl	marine			15-25	1.52	1.73
	Vertical Cyl.	roughness			15-25	2.4	3.02
Sarpkaya	Harmonic	Barnacles	0,02	0.3-8.4	4-60	1.42-2.42	0,49-1,48
Rodenbusch & Gutierrez	Harmonic/2D random	Conical Frusta	0.02	4.4-17.5	3-90	0.85-2.5	0,96-2.0
Penulis	Waves	Rubber	-	0.15-0.24	1.7-2.6	-	1.59-2.4
			0.02	0.12-0.21	1.3-2.3	-	1.82-3.05
			0.11	0.13-0.24	1.28-2.	-	1.53-2.74
			0.17	0.12-0.24	1.07-2.	-	1.44-2.94

#### 4.4. Kelemahan dan Kendala Percobaan

Percobaan yang dilakukan penulis bukanlah percobaan yang sempurna. Banyak hal yang dapat menyebabkan hasil percobaan ini tidak lagi akurat, beberapa kelemahan dan kendala saat percobaan diantaranya adalah :

##### 1. Kalibrasi

Untuk mendapatkan hasil percobaan yang sempurna maka kalibrasi terhadap peralatan yang dipakai dalam pengujian sebaiknya dilakukan setiap akan mulai percobaan, tetapi dalam eksperimen ini kalibrasi hanya dilakukan sekali yaitu saat pipa uji pertama kali dipasang, hal ini mengingat keterbatasan waktu yang ada, selain itu beban kalibrasi yang hanya dua macam menimbulkan kesulitan untuk memeriksa perubahan pembebanan yang dialami oleh pipa uji.

##### 2. Tidak ada variasi prosentase penutupan model tumbuhan laut pada pipa uji.

Variasi prosentase penutupan model kekasaran pada pipa uji sebaiknya dilakukan, agar dapat dimonitor hubungan antara perubahan koefisien inersia dengan laju pertumbuhan tumbuhan laut, hal ini sulit direalisasikan mengingat keterbatasan waktu yang dimiliki, namun dengan prosentase penutupan sebesar 100 % pun dapat dilihat hubungan antara perubahan koefisien inersia dengan laju pertumbuhan tumbuhan laut, karena penulis menggunakan beberapa model yang mempunyai ukuran yang berbeda.

##### 3. Pemakaian variasi tinggi gelombang

Pada percobaan ini hanya digunakan 4 macam tinggi gelombang dengan periode konstan, sehingga angka Reynold dan Keulegan Carpenter yang didapat hanya 4

titik, bila pemakaian variasi lebih dari 4 macam maka grafik koefisien inersia vs Re dan KC akan lebih bagus lagi, selain itu ternyata output tinggi gelombang yang terjadi untuk masing-masing model tidak sama dengan input yang diberikan.

#### 4. Material model kekasaran yang digunakan

Dalam eksperimen ini model kekasaran pipa dibuat dari karet, beratnya memang ringan tetapi bila dicelupkan kedalam air akan timbul gaya angkat keatas, untuk menghilangkannya diberi pemberat sebagai penyeimbang namun tentunya gaya angkat ini tidak hilang seluruhnya, sehingga sedikit atau banyak akan berpengaruh terhadap pembacaan beban oleh strain gauge.

#### 5. Waktu perekamsn dan Jumlah data

Waktu perekaman data dalam percobaan ini hanya 5 detik dengan jumlah data 100 buah, dengan waktu perekaman data yang hanya singkat saja kita tidak bisa memeriksa bagaimana kondisi pembebanan setelah 5 detik berikutnya, tidak menutup kemungkinan kondisi pembebanan dan tinggi gelombang yang terjadi diluar waktu perekaman data tersebut hasilnya berbeda.





BAB V  
KESIMPULAN  
DAN SARAN



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang diambil ini berdasarkan hasil analisa yang terdapat dalam bab IV, dan dengan mengacu pada tujuan yang hendak dicapai dari penulisan tugas akhir seperti tercantum dalam bab I, beberapa kesimpulan tersebut adalah :

1. Gaya inersia yang dialami oleh pipa uji semakin besar seiring dengan bertambahnya diameter efektif pipa uji, gaya inersia pada silinder bersih tetap merupakan gaya yang terkecil, hal ini sejalan dengan teori Morison, dimana gaya inersia berbanding lurus dengan diameter pipa uji. Untuk silinder bersih gaya inersia yang terjadi sebesar 13.99 - 14.32 N/m, penambahan diameter sebesar 4 mm (4.5 %), gaya inersia menjadi 14.96 - 15.67 N/m (terjadi penambahan sebesar 6.93 - 10.12 %), dengan penambahan diameter sebesar 2 cm (22.5 %) gaya inersia menjadi 18.35 - 18.93 (terjadi penambahan sebesar 31.17 - 33.03 %), sedangkan penambahan diameter pipa uji sebesar 3 cm (33.75 %) gaya inersianya menjadi 19.57 - 20.24 (penambahan gaya sebesar 39.88 - 42.23 %)
2. Harga  $C_m$  yang diperoleh dari penelitian ini berada dalam rentang 1.58-2.4 untuk silinder bersih dan 1.45-3.05 untuk silinder dengan tumbuhan laut,

dalam variasi angka Keulegan Carpenter (KC) 1.07-2.59 dan angka Reynold (Re)  $0.1 - 0.24 \times 10^5$ .

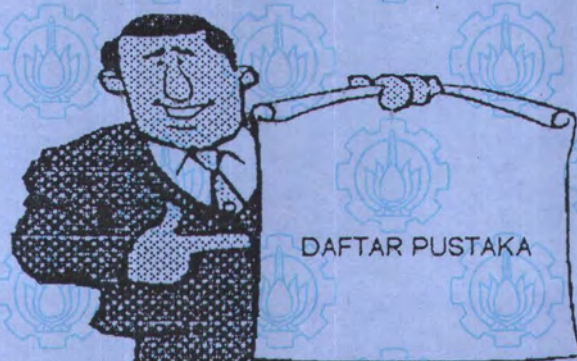
3. Besarnya koefisien inersia untuk silinder bersih berkisar antara 2.4 sampai 1.58. Bila dibandingkan dengan besarnya koefisien inersia menurut teori sebesar 2, perbedaan harga-harga yang diperoleh dari percobaan dengan teori tersebut berkisar antara -21 % sampai +20 %.
4. Koefisien inersia untuk silinder bersih ( $k/D=0$ ) cenderung lebih kecil dari silinder yang ada kekasarannya, kecuali untuk  $k/D$  0.11 pada input tinggi gelombang 8 cm dan untuk  $k/D$  0.17 pada input tinggi gelombang 6 dan 8 cm, koefisien inersianya lebih kecil dari silinder bersih, hal ini bisa dimaklumi karena penambahan gaya inersia tidak terlalu besar, selain itu juga terjadi ketidak konsistenan dari out put tinggi gelombang, dimana untuk silinder kasar tinggi gelombang yang terjadi selalu lebih kecil dari silinder bersih.
5. Akhirnya, penambahan garis tengah silinder akibat akumulasi tumbuhan laut lebih berpengaruh pada gaya inersia dari pada pola kekasaran tumbuhan laut itu sendiri. Pertambahan garis tengah silinder berarti pertambahan volume displasemen fluida. Bertambahnya volume dispalsemen fluida berarti bertambahnya massa fluida yang membentuk unsur gaya inersia yang menerpa silinder yang bersangkutan.



## 5.2. Saran

Untuk pengujian yang lebih sempurna, penulis menyarankan agar dilakukan beberapa perbaikan, diantaranya:

- ♦ Penyempurnaan model yang dipakai, sebaiknya dilakukan juga variasi prosentase penutupan permukaan pipa, agar pengaruh kekasaran pada permukaan pipa uji lebih tampak lagi, prosentase penutupan tidak hanya seratus prosen seperti dalam percobaan ini.
- ♦ Variasi tinggi dan priode gelombang sebaiknya juga lebih bervariasi lagi.
- ♦ Proses pembacaan data sebaiknya tidak hanya 5 detik dan jumlah data yang direkam juga ditambah agar hasilnya lebih baik lagi.
- ♦ Kalibrasi ulang terhadap peralatan percobaan seperti pembangkit gelombang sudah sangat diperlukan, mengingat alat ini sudah lama dipakai dan saat proses pengujian sedang berlangsung sering mengalami gangguan.





## DAFTAR PUSTAKA

1. Chakrabarti, S.K (1987), *Hydrodynamics of Offshore Structures*, CBI Industries Inc, New York
2. Dawson, Thomas H (1983), *Offshore Structural Engineering*, Printice Hall International Inc, London
3. Le Mehaute, B (1976), *An Introduction to Hydrodynamic And Water Waves*, Springer-Verlag, New York
4. Pitoyo, B.B (1992), *Pengaruh Kekasaran Permukaan Pipa Tegak Terhadap Beban Arus Melalui Eksperimen*, Tugas Akhir FTK- ITS, Surabaya
5. Rubino, H (1992), *Pengaruh Marine Growth Terhadap Beban Gelombang Pada Bangunan Lepas Pantai di perairan Laut Jawa, Cina Selatan dan Selat Makasar*, Tugas Akhir FTK-ITS, Surabaya
6. Sarpkaya, T and Isacson, M (1981), *Mechanics Of Wave Forces On Offshore Structure*, Van Nostrand Reinhold Co, New York
7. Soegiono, et al (1995) , *Evaluasi Pengaruh Marine Growth Pada Kelaiikan Struktur Loading Dock I dan II, Cooling Water Intake dan LPG Pipe Bridge*, Proyek Kerjasama ITS Surabaya dan PT. Badak Natural Gas Liquefaction Co
8. The Marine Technology Directorate Limited (1992), *Appraisal Of Marine Growth On Offshore Instalation*, MTD Ltd Publication 92/102

9. Theophanatos, A (1988), *Marine growth And The Hydrodynamic Loading Of Offshore Structures*, Ship And Marine Technology Division, Departement Of Mechanical And Process Engineering, University Of Strathclyde
10. Wolfram, J and Theophanatos, A (1985), *The Effect Of Marine Fouling On The fluid Loading Of Cylinders : Some Experimental Results*, Proceeding OTC 4954 Volume II.
11. Sutomo, J (1996), *Studi Eksperimental Mengenai Pengaruh Tumbuhan Laut Pada Gaya Inersia Akibat Gelombang*, Laporan Penelitian Program Studi Teknik Kelautan ITS Surabaya





## LAMPIRAN A



Silinder Bersih  
 Data untuk  $H=4$  cm  $T=1$  detik  
 Jumlah data 100  
 Jumlah channel terpasang 3  
 Jumlah data perdetik 20

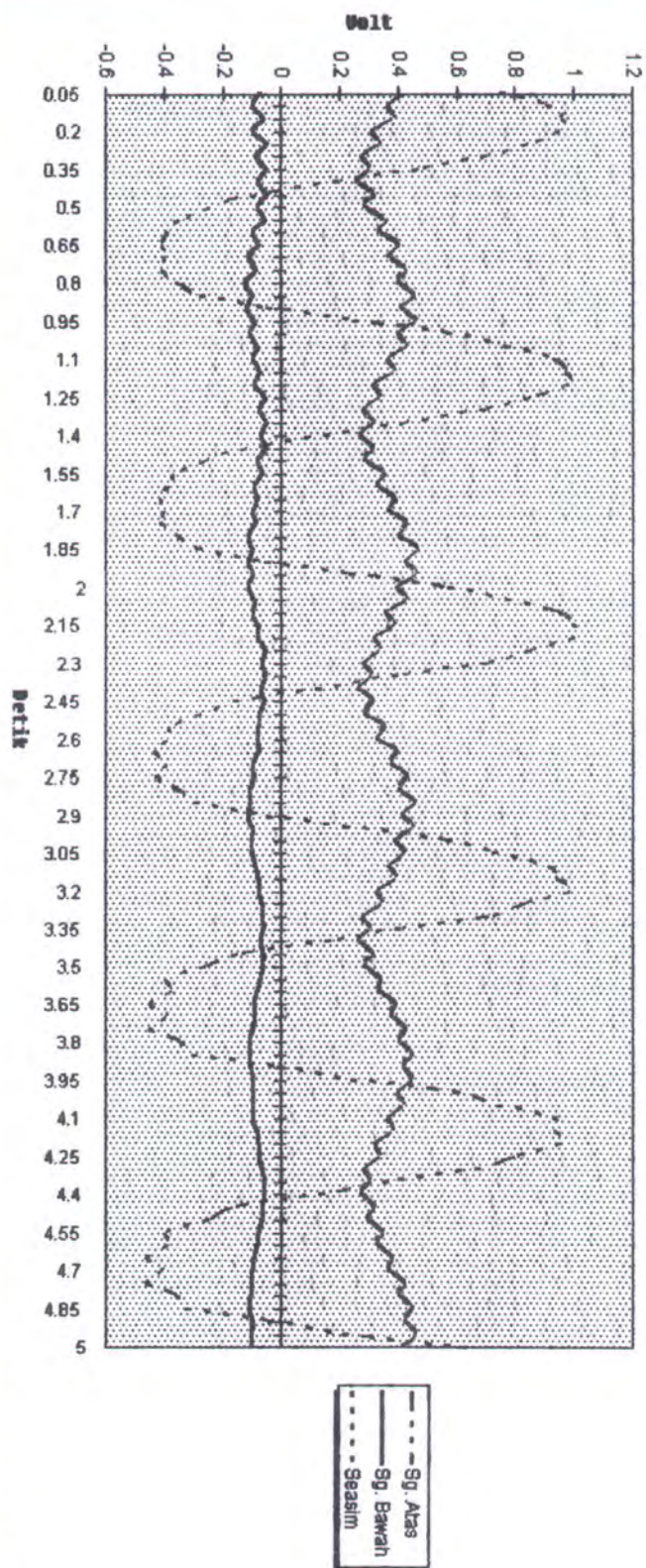
Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.4247	-0.07257	0.7422
0.3563	-0.10187	0.8984
0.3807	-0.06287	0.957
0.3026	-0.09707	0.9473
0.3319	-0.05307	0.8398
0.2636	-0.08727	0.6982
0.2977	-0.05307	0.4639
0.2489	-0.08237	0.1953
0.3124	-0.04817	-0.0879
0.2782	-0.08237	-0.2441
0.3514	-0.05797	-0.3516
0.3221	-0.09707	-0.3857
0.3954	-0.07747	-0.415
0.3563	-0.11657	-0.4053
0.4247	-0.08727	-0.415
0.3905	-0.12637	-0.3662
0.4491	-0.09707	-0.2832
0.4003	-0.12147	-0.0586
0.454	-0.08217	0.2393
0.3905	-0.11167	0.5566
0.4247	-0.08237	0.7617
0.3563	-0.10187	0.9229
0.3807	-0.07257	0.9668
0.3075	-0.09217	0.9766
0.3319	-0.05797	0.8447
0.2684	-0.07747	0.6934
0.3075	-0.04817	0.4248
0.2587	-0.07257	0.1611
0.3075	-0.05797	-0.1221
0.2782	-0.08237	-0.2637
0.3466	-0.06777	-0.3711
0.3173	-0.09217	-0.3857
0.3856	-0.08237	-0.4199
0.3563	-0.10187	-0.4053
0.4198	-0.08727	-0.4199
0.3954	-0.11657	-0.3613
0.4589	-0.09707	-0.293
0.4149	-0.11657	-0.0635
0.454	-0.10187	0.2246
0.3856	-0.11657	0.5615
0.4198	-0.09217	0.7617
0.3466	-0.10187	0.9424
0.3807	-0.08237	0.9863
0.3075	-0.08237	1.001
0.3319	-0.05797	0.8545
0.2684	-0.06777	0.6982
0.3026	-0.05797	0.3955
0.2538	-0.07257	0.1367
0.3075	-0.06287	-0.1465
0.2733	-0.07747	-0.2783
0.3466	-0.07747	-0.3906
0.3173	-0.08237	-0.3955

0.3905	-0.07747	-0.4443
0.3661	-0.10187	-0.4004
0.4296	-0.09217	-0.4395
0.3954	-0.11167	-0.3564
0.4491	-0.10677	-0.3076
0.4052	-0.11657	-0.0537
0.4442	-0.10187	0.21
0.3807	-0.10677	0.5566
0.4149	-0.09707	0.7178
0.3563	-0.08727	0.9082
0.3856	-0.07747	0.9326
0.3173	-0.07747	0.9814
0.3368	-0.06777	0.8301
0.2684	-0.06777	0.7031
0.2977	-0.06287	0.4053
0.2538	-0.07257	0.186
0.3075	-0.06287	-0.1563
0.2782	-0.06777	-0.2637
0.3368	-0.07257	-0.4004
0.3221	-0.08237	-0.376
0.3856	-0.09217	-0.459
0.3661	-0.09217	-0.4004
0.4198	-0.10187	-0.459
0.3954	-0.11167	-0.3516
0.4442	-0.11167	-0.3125
0.41	-0.10677	-0.0195
0.4442	-0.10187	0.2344
0.3905	-0.09707	0.5859
0.41	-0.09707	0.7324
0.3563	-0.09707	0.9229
0.3759	-0.08237	0.9277
0.3124	-0.07747	0.957
0.3319	-0.07747	0.791
0.2733	-0.06777	0.8787
0.2977	-0.06287	0.3613
0.2636	-0.06287	0.1465
0.3124	-0.06777	-0.1709
0.288	-0.06777	-0.2539
0.3417	-0.07747	-0.4053
0.3173	-0.08237	-0.3857
0.3759	-0.09217	-0.4688
0.3563	-0.10187	-0.415
0.4149	-0.10677	-0.4688
0.3954	-0.10677	-0.3662
0.4442	-0.11167	-0.332
0.4149	-0.10187	-0.0488
0.454	-0.10677	0.2051
0.4003	-0.09707	0.5713



# HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM

(Untuk silinder bersih H=4 cm T=1 detik)



Silinder Bersih

Data untuk H=5 cm T=1 detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

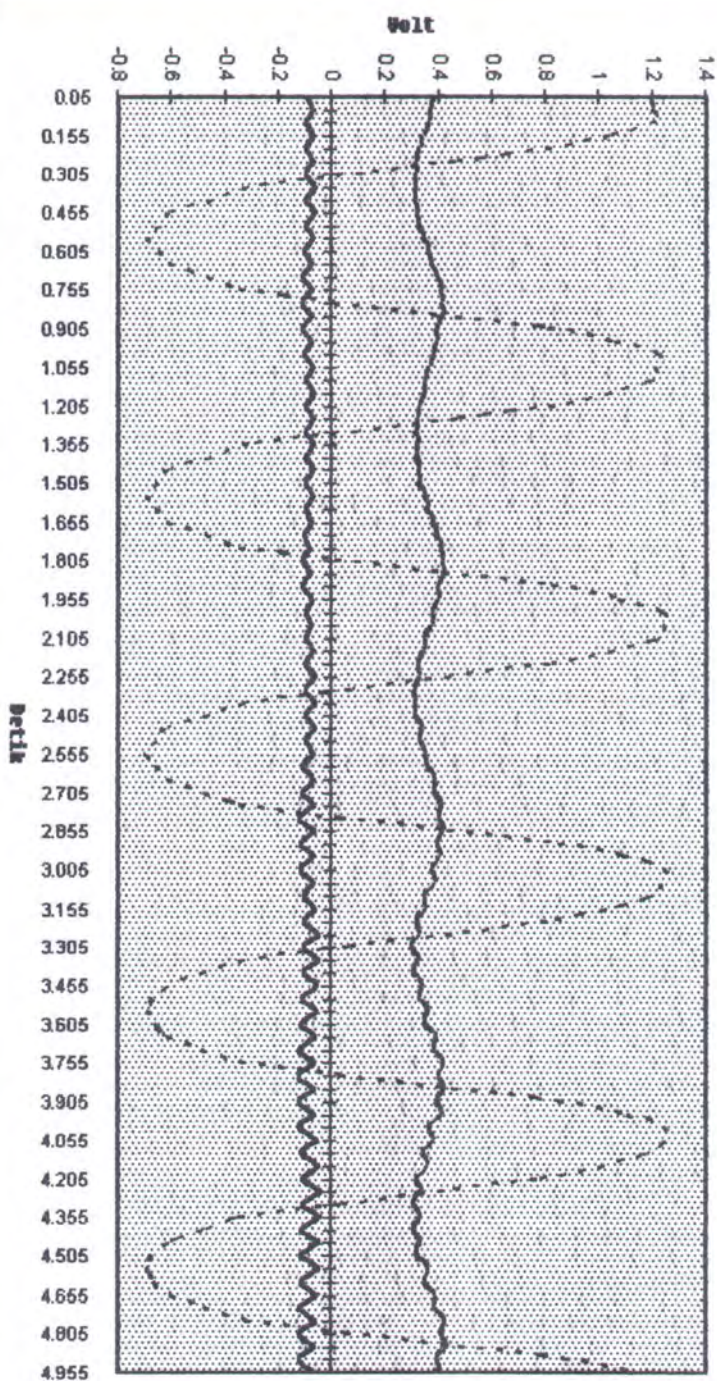
Jumlah data perdetik 20

Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.3823	-0.0988	1.1963
0.3677	-0.0695	1.1963
0.3579	-0.0988	1.2109
0.3433	-0.0695	1.04
0.3286	-0.0988	0.8252
0.314	-0.0646	0.4639
0.314	-0.0939	0.1123
0.314	-0.0598	-0.3125
0.3091	-0.0939	-0.4443
0.3189	-0.0598	-0.6055
0.3238	-0.0939	-0.6396
0.3433	-0.0695	-0.6982
0.3579	-0.1037	-0.6494
0.3726	-0.0744	-0.6152
0.3872	-0.1086	-0.4688
0.4068	-0.0744	-0.3516
0.4068	-0.1086	0.0049
0.4116	-0.0744	0.3906
0.3921	-0.1086	0.8105
0.3921	-0.0744	1.0547
0.3775	-0.1037	1.2109
0.3677	-0.0695	1.2061
0.3482	-0.0939	1.2061
0.3433	-0.0646	1.0449
0.3238	-0.0939	0.835
0.3189	-0.0646	0.4688
0.3091	-0.0939	0.0977
0.3189	-0.0646	-0.3125
0.314	-0.0988	-0.4541
0.3238	-0.0646	-0.6104
0.3238	-0.0939	-0.6494
0.3482	-0.0695	-0.6982
0.353	-0.0939	-0.6592
0.3775	-0.0744	-0.6201
0.3872	-0.1037	-0.4736
0.4068	-0.0793	-0.3516
0.4116	-0.1086	0.0098
0.4165	-0.0793	0.415
0.397	-0.1086	0.8252
0.397	-0.0744	1.0693
0.3726	-0.0988	1.2354
0.3726	-0.0744	1.2354
0.3433	-0.0988	1.2256
0.3433	-0.0646	1.0547
0.3189	-0.0939	0.8154
0.3238	-0.0598	0.4443
0.3042	-0.0939	0.0732
0.314	-0.0598	-0.3223
0.3042	-0.0939	-0.459
0.3335	-0.0598	-0.6201
0.3238	-0.0988	-0.6543
0.3482	-0.0646	-0.7031



0.353	-0.1086	-0.6641
0.3823	-0.0646	-0.6201
0.3775	-0.1086	-0.4785
0.4068	-0.0695	-0.3467
0.397	-0.1184	0.0293
0.4165	-0.0695	0.4297
0.3921	-0.1135	0.8447
0.4019	-0.0646	1.0889
0.3726	-0.1135	1.2354
0.3823	-0.0646	1.2305
0.3433	-0.1037	1.2012
0.3482	-0.0598	1.0303
0.3091	-0.1037	0.8057
0.3238	-0.05	0.4492
0.2945	-0.1037	0.0684
0.3238	-0.05	-0.3223
0.2993	-0.1037	-0.4688
0.3335	-0.0549	-0.6152
0.3238	-0.1086	-0.6592
0.3579	-0.0549	-0.6934
0.3433	-0.1135	-0.6641
0.3872	-0.0598	-0.6201
0.3775	-0.1232	-0.4883
0.4116	-0.0646	-0.3418
0.397	-0.1232	0.0293
0.4214	-0.0646	0.4492
0.3872	-0.1232	0.8447
0.4068	-0.0646	1.1035
0.3628	-0.1184	1.2402
0.3775	-0.0549	1.2451
0.3384	-0.1135	1.1914
0.353	-0.05	1.0205
0.3091	-0.1086	0.7715
0.3286	-0.0451	0.4199
0.2993	-0.1086	0.0342
0.3286	-0.0451	-0.3271
0.2993	-0.1135	-0.4785
0.3286	-0.05	-0.6055
0.314	-0.1135	-0.6689
0.3579	-0.05	-0.6934
0.3433	-0.1135	-0.6689
0.3823	-0.0549	-0.6104
0.3775	-0.1184	-0.4785
0.4214	-0.0598	-0.3223
0.4019	-0.1232	0.0488
0.4263	-0.0646	0.4736
0.3872	-0.1232	0.8643
0.4019	-0.0646	1.1133

# **HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM** (Untuk Silinder Berisi, H=5 cm T=1 Detik)



- - - Sg. Atas  
 - - - Sg. Bawah  
 . . . Seasim



Silinder Bersih

Data untuk  $H=6$  cm  $T=1$  detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

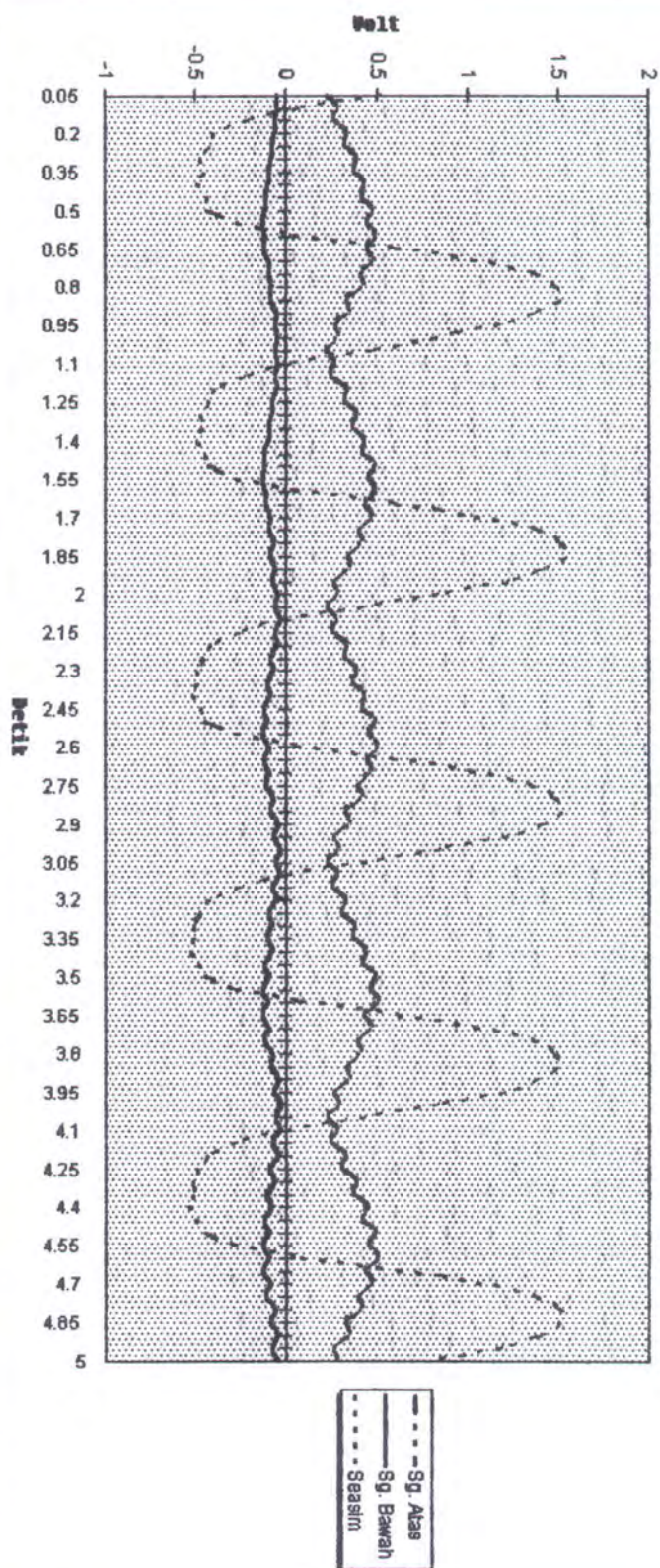
Jumlah data perdetik 20

Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.2148	-0.0586	0.5225
0.2734	-0.0537	0.0635
0.249	-0.0635	-0.2002
0.332	-0.0684	-0.4004
0.3125	-0.083	-0.4199
0.3857	-0.083	-0.4883
0.3613	-0.0977	-0.459
0.4297	-0.0977	-0.498
0.4053	-0.1123	-0.4443
0.4736	-0.1172	-0.4492
0.4346	-0.1318	-0.2832
0.4883	-0.1172	0.0342
0.4346	-0.1221	0.5957
0.4688	-0.1025	1.0107
0.3955	-0.0977	1.3623
0.415	-0.083	1.4697
0.3271	-0.0879	1.5088
0.3418	-0.0586	1.3623
0.2588	-0.0684	1.1816
0.2734	-0.0488	0.8301
0.2051	-0.0635	0.4688
0.2588	-0.0488	0.0244
0.2344	-0.0684	-0.2295
0.3271	-0.0586	-0.3955
0.3076	-0.0781	-0.4248
0.3857	-0.0781	-0.4834
0.3564	-0.1025	-0.4639
0.4297	-0.0977	-0.498
0.4053	-0.1221	-0.4541
0.4834	-0.1123	-0.4395
0.4395	-0.1318	-0.293
0.4883	-0.1123	0.0342
0.4297	-0.1172	0.5908
0.4688	-0.0928	1.0254
0.3906	-0.1025	1.3672
0.4102	-0.0732	1.499
0.3271	-0.0879	1.5479
0.3369	-0.0635	1.4209
0.249	-0.0781	1.2256
0.2734	-0.0439	0.8398
0.2148	-0.0635	0.4297
0.2686	-0.0391	-0.0098
0.2441	-0.0684	-0.2588
0.332	-0.0537	-0.415
0.3076	-0.0879	-0.4492
0.3857	-0.0732	-0.5029
0.3564	-0.1074	-0.4932
0.4297	-0.0928	-0.5273
0.4102	-0.127	-0.4736
0.4834	-0.1074	-0.4541
0.4443	-0.1318	-0.293
0.498	-0.1025	0.0391

0.4346	-0.127	0.5762
0.4639	-0.0977	1.001
0.3857	-0.1123	1.3379
0.4063	-0.0732	1.4697
0.3223	-0.0879	1.5137
0.3418	-0.0488	1.4111
0.2539	-0.0732	1.2256
0.2783	-0.0391	0.8447
0.2148	-0.0635	0.4443
0.2734	-0.0391	0.0098
0.2393	-0.0781	-0.2588
0.3223	-0.0586	-0.4248
0.2979	-0.1025	-0.4688
0.3711	-0.0781	-0.5176
0.3516	-0.1074	-0.5127
0.4348	-0.083	-0.5322
0.4102	-0.1221	-0.4932
0.4883	-0.0977	-0.4541
0.4492	-0.1367	-0.2881
0.5029	-0.1074	0.0635
0.4297	-0.1367	0.6006
0.459	-0.0977	1.0264
0.3809	-0.1221	1.3428
0.4004	-0.0781	1.4648
0.3174	-0.0928	1.4893
0.3418	-0.0488	1.3916
0.2539	-0.0732	1.2012
0.2832	-0.0293	0.8398
0.2197	-0.0684	0.4346
0.2734	-0.0391	0
0.2344	-0.083	-0.2734
0.3223	-0.0488	-0.4346
0.2979	-0.0977	-0.4834
0.3809	-0.0684	-0.5225
0.3516	-0.1123	-0.5176
0.4395	-0.083	-0.5322
0.4102	-0.127	-0.498
0.4883	-0.0977	-0.459
0.4443	-0.1367	-0.3076
0.498	-0.0977	0.0635
0.4297	-0.1318	0.6006
0.4688	-0.0928	1.0352
0.3857	-0.1172	1.3574
0.4102	-0.0635	1.4941
0.3174	-0.0928	1.5137
0.3369	-0.0488	1.4014
0.2539	-0.083	1.1865
0.2783	-0.0439	0.8105



# **HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM** (Untuk silinder bersih $H=6$ cm $T=1$ detik)



Silinder Bersih

Data untuk H=8 cm T=1 detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

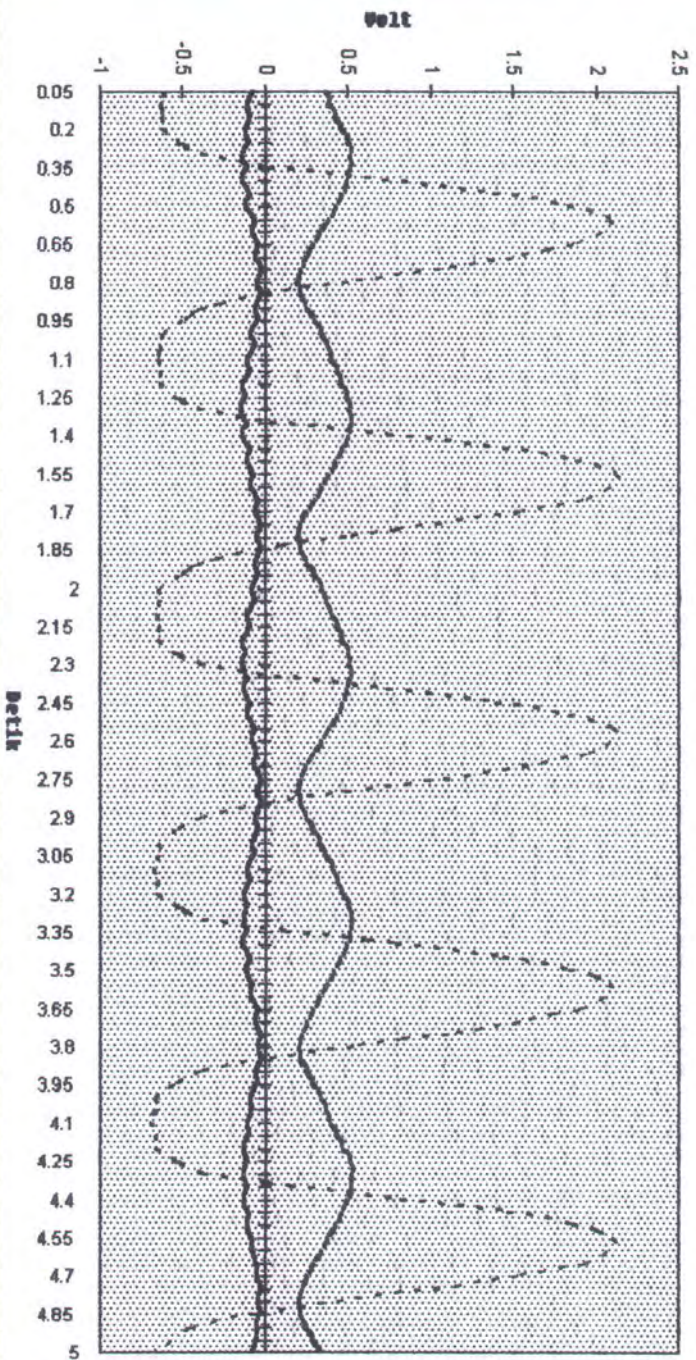
Jumlah data perdetik 20

Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.3613	-0.0732	-0.6201
0.3809	-0.1123	-0.6445
0.4199	-0.0928	-0.6299
0.459	-0.127	-0.6396
0.4932	-0.1074	-0.5469
0.5078	-0.1416	-0.3955
0.5078	-0.1123	0.0098
0.4883	-0.1416	0.7031
0.4688	-0.0977	1.377
0.4248	-0.1221	1.8164
0.3906	-0.0684	2.0752
0.332	-0.0879	2.0361
0.2979	-0.0488	1.8555
0.249	-0.0635	1.4941
0.2148	-0.0195	1.0547
0.1904	-0.0537	0.498
0.21	-0.0244	-0.0049
0.2344	-0.0684	-0.3564
0.2881	-0.0488	-0.5029
0.3271	-0.0928	-0.6299
0.3662	-0.0684	-0.6299
0.3906	-0.1123	-0.6592
0.4297	-0.0928	-0.6396
0.4492	-0.1416	-0.6494
0.4883	-0.1221	-0.5664
0.498	-0.1563	-0.4199
0.5127	-0.1123	0.0195
0.4932	-0.1416	0.7275
0.4639	-0.0928	1.4258
0.4297	-0.1172	1.8652
0.3906	-0.0732	2.1094
0.3418	-0.0928	2.085
0.3027	-0.0488	1.9189
0.2539	-0.0684	1.5381
0.21	-0.0293	1.0645
0.1855	-0.0586	0.4883
0.2051	-0.0244	-0.0244
0.2393	-0.0684	-0.3809
0.293	-0.0439	-0.5273
0.3271	-0.083	-0.6494
0.3613	-0.0684	-0.6396
0.3857	-0.1172	-0.8738
0.4248	-0.0977	-0.6543
0.4541	-0.1465	-0.8641
0.4932	-0.1221	-0.5713
0.498	-0.1465	-0.4053
0.5029	-0.1123	0.0488
0.4834	-0.1367	0.7275
0.4688	-0.0928	1.3818
0.4346	-0.1172	1.8311
0.3906	-0.0684	2.0898
0.3369	-0.0879	2.085



0.293	-0.0537	1.9385
0.2441	-0.0732	1.582
0.21	-0.0244	1.1133
0.1904	-0.0537	0.5176
0.2051	-0.0244	-0.0098
0.2393	-0.0684	-0.3857
0.2881	-0.0488	-0.542
0.3223	-0.0879	-0.6543
0.3613	-0.0732	-0.6494
0.3955	-0.1172	-0.6885
0.4248	-0.0977	-0.6592
0.4541	-0.1367	-0.6689
0.4932	-0.1172	-0.5566
0.5127	-0.1367	-0.3906
0.5127	-0.1123	0.1123
0.4932	-0.1416	0.7813
0.459	-0.0977	1.4258
0.4199	-0.1221	1.8311
0.3809	-0.083	2.0703
0.3271	-0.0928	2.041
0.293	-0.0439	1.8945
0.2539	-0.0635	1.5332
0.2148	-0.0293	1.0986
0.1953	-0.0488	0.5273
0.21	-0.0293	0.0049
0.2441	-0.0635	-0.4004
0.2881	-0.0586	-0.5518
0.3223	-0.0928	-0.6787
0.3564	-0.083	-0.6592
0.3809	-0.1123	-0.708
0.4248	-0.1025	-0.6738
0.4541	-0.1318	-0.6836
0.5029	-0.1123	-0.5615
0.5176	-0.1367	-0.3906
0.5127	-0.1172	0.1367
0.4932	-0.1367	0.8057
0.459	-0.1074	1.4551
0.4297	-0.1123	1.8457
0.3809	-0.083	2.0947
0.3369	-0.083	2.0605
0.293	-0.0537	1.9238
0.2539	-0.0586	1.5234
0.2148	-0.0293	1.0498
0.2002	-0.0439	0.4639
0.21	-0.0342	-0.0537
0.2393	-0.0586	-0.4248
0.2881	-0.0586	-0.5713
0.3174	-0.083	-0.6885

# **PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM** (Untuk silinder bersih $H=8$ cm $T=1$ detik)



- - - Sg. Atas  
 — Sg. Bawah  
 . . . Seasim



Silinder Model 1

H=4 cm T=1 Detik

Jumlah channel terpasang 3

Jumlah data 100

Jumlah data perdetik 20

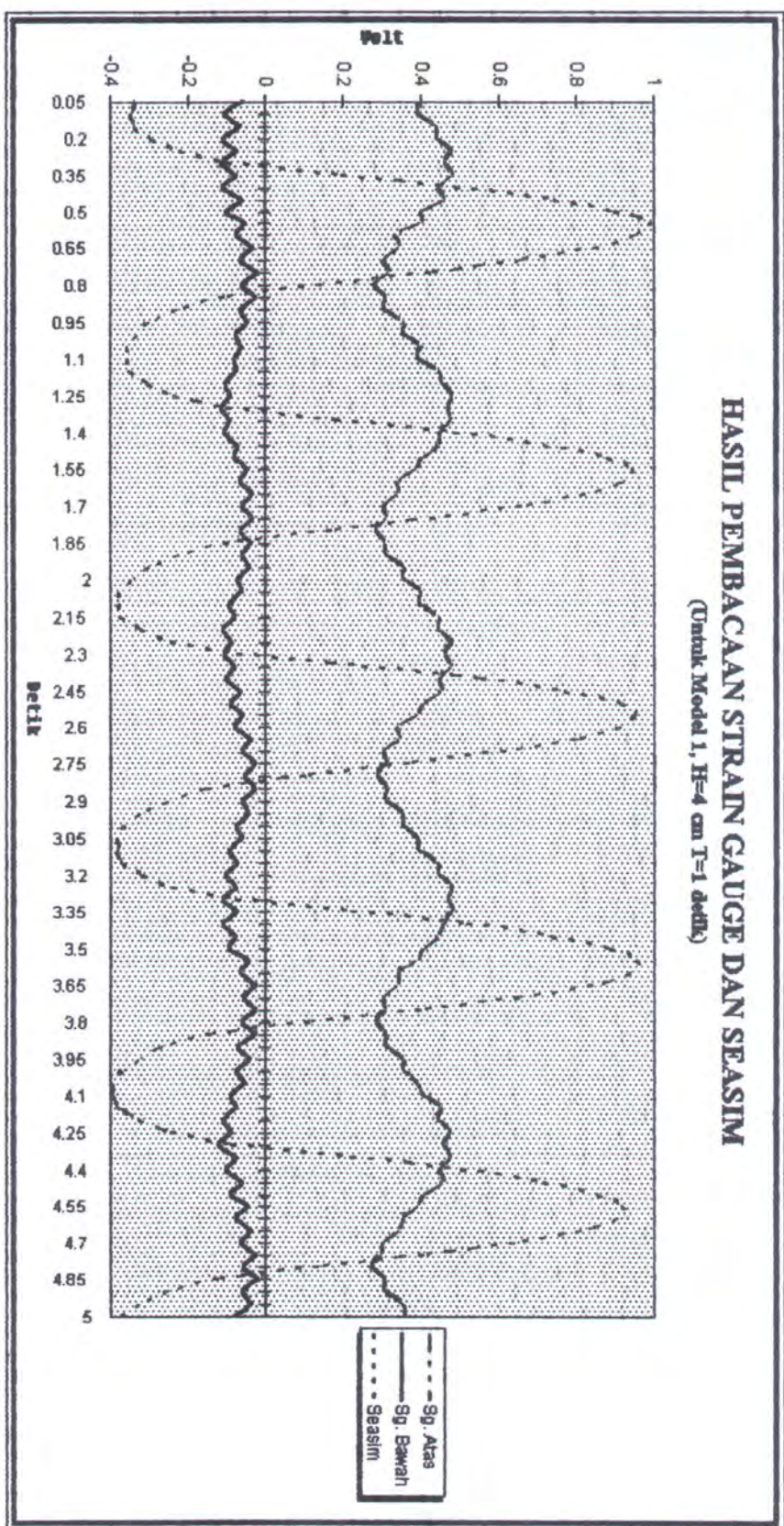
Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.4	-0.0683	-0.3369
0.3854	-0.1071	-0.3516
0.4342	-0.068	-0.3418
0.4342	-0.112	-0.3027
0.4782	-0.0778	-0.2246
0.4586	-0.1169	-0.1025
0.4782	-0.0778	0.1904
0.4391	-0.112	0.4834
0.4538	-0.0632	0.7373
0.3952	-0.1022	0.8936
0.3952	-0.0634	0.9863
0.3317	-0.0778	0.9521
0.3414	-0.0339	0.8545
0.2975	-0.068	0.6543
0.3121	-0.0241	0.4248
0.2731	-0.0632	0.1416
0.3073	-0.029	-0.1074
0.2975	-0.068	-0.2295
0.3512	-0.0485	-0.3027
0.3463	-0.0778	-0.332
0.3952	-0.0632	-0.3613
0.3854	-0.0827	-0.3564
0.444	-0.0778	-0.3564
0.4489	-0.1022	-0.3076
0.4782	-0.0925	-0.2393
0.4635	-0.1169	-0.1025
0.4733	-0.0925	0.1758
0.444	-0.1071	0.4834
0.444	-0.0729	0.7129
0.4	-0.0827	0.874
0.3854	-0.0485	0.9375
0.3366	-0.068	0.9229
0.3366	-0.0339	0.8203
0.2975	-0.0632	0.6592
0.3073	-0.0339	0.4346
0.278	-0.068	0.1709
0.3024	-0.0387	-0.0977
0.3073	-0.0632	-0.2246
0.3512	-0.0436	-0.3027
0.3512	-0.0729	-0.3467
0.3952	-0.0632	-0.3809
0.3903	-0.0973	-0.3809
0.444	-0.0827	-0.3809
0.4391	-0.112	-0.3271
0.4782	-0.0876	-0.249
0.4586	-0.1071	-0.0781
0.4733	-0.0827	0.2441
0.444	-0.1022	0.5518
0.4489	-0.068	0.7666
0.4	-0.0925	0.9082
0.3903	-0.0583	0.9521

0.3366	-0.0827	0.9131
0.3414	-0.0387	0.7959
0.2975	-0.0632	0.6152
0.3073	-0.029	0.3662
0.2829	-0.0634	0.1025
0.3073	-0.029	-0.1416
0.3073	-0.0632	-0.2539
0.3463	-0.0436	-0.3223
0.3463	-0.0778	-0.3613
0.3854	-0.0632	-0.3857
0.3903	-0.0973	-0.3867
0.4391	-0.0729	-0.376
0.444	-0.1022	-0.3223
0.4782	-0.0778	-0.2441
0.4635	-0.112	-0.083
0.4782	-0.0778	0.2197
0.4638	-0.112	0.5127
0.444	-0.0778	0.7324
0.4049	-0.0973	0.8838
0.3854	-0.0485	0.9521
0.3414	-0.068	0.9375
0.3366	-0.029	0.8398
0.2975	-0.0583	0.6494
0.3024	-0.029	0.3955
0.278	-0.0632	0.1123
0.3073	-0.029	-0.1416
0.3073	-0.0729	-0.2686
0.3463	-0.0436	-0.3271
0.3512	-0.0778	-0.3711
0.3854	-0.0534	-0.3955
0.4	-0.0925	-0.3955
0.4489	-0.0778	-0.3857
0.4391	-0.112	-0.332
0.4733	-0.0876	-0.249
0.4538	-0.1218	-0.0928
0.4733	-0.0778	0.2148
0.444	-0.1022	0.498
0.4538	-0.0632	0.7129
0.4049	-0.0925	0.8496
0.3903	-0.0485	0.9131
0.3512	-0.0778	0.9033
0.3414	-0.0387	0.8105
0.2975	-0.068	0.6396
0.2926	-0.029	0.4053
0.2682	-0.0583	0.1367
0.3024	-0.0241	-0.1221
0.3024	-0.0632	-0.2539
0.3463	-0.0387	-0.3271
0.3512	-0.0827	-0.3809



# HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM

(Untuk Model 1, H=4 cm T=1 detik)



Silinder Model 1  
 H=5 cm T=1 Detik  
 Jumlah Channel terpasang 3  
 Jumlah data 100  
 Jumlah data perdetik 20

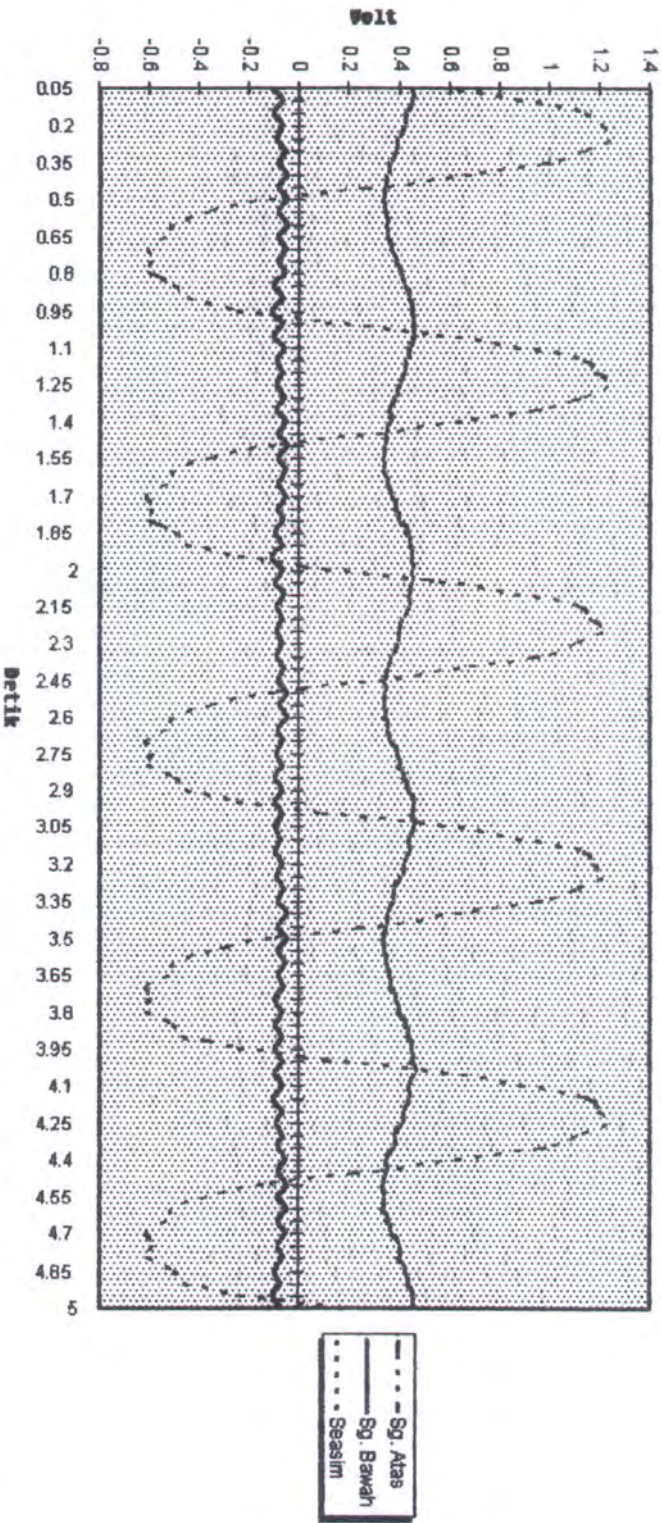
Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.4474	-0.1085	0.5518
0.4474	-0.0694	0.8691
0.4279	-0.1036	1.1377
0.4181	-0.0645	1.2012
0.3937	-0.0938	1.2402
0.3839	-0.0548	1.1377
0.3644	-0.0889	1.001
0.3546	-0.0499	0.6885
0.34	-0.0841	0.3613
0.3351	-0.045	-0.0977
0.34	-0.0889	-0.3564
0.3449	-0.0499	-0.5029
0.3546	-0.0889	-0.5371
0.3644	-0.0548	-0.6104
0.3839	-0.0889	-0.5957
0.4035	-0.0596	-0.6055
0.4181	-0.1036	-0.5078
0.4328	-0.0694	-0.4541
0.4474	-0.1085	-0.2539
0.4572	-0.0645	0.0977
0.4523	-0.1036	0.5469
0.4425	-0.0596	0.8594
0.4279	-0.0938	1.1279
0.4181	-0.0645	1.1768
0.3986	-0.0938	1.2305
0.3839	-0.0596	1.123
0.3595	-0.0938	0.9668
0.3595	-0.0548	0.6445
0.3449	-0.0889	0.332
0.34	-0.0499	-0.0977
0.3351	-0.0841	-0.3467
0.3351	-0.0548	-0.498
0.3498	-0.0841	-0.5322
0.3644	-0.0548	-0.6201
0.3839	-0.0889	-0.5908
0.3937	-0.0645	-0.6055
0.4279	-0.0987	-0.5029
0.4425	-0.0694	-0.459
0.4474	-0.1085	-0.2441
0.4474	-0.0694	0.1025
0.4474	-0.0987	0.5566
0.4376	-0.0596	0.8594
0.4328	-0.0938	1.1182
0.4132	-0.0645	1.1572
0.3986	-0.0938	1.2109
0.3888	-0.0645	1.1035
0.3693	-0.0938	0.9619
0.3498	-0.0596	0.6396
0.34	-0.0841	0.3467
0.34	-0.045	-0.0977
0.34	-0.0792	-0.3467
0.34	-0.0499	-0.5029



0.3546	-0.0889	-0.5322
0.3696	-0.0646	-0.6201
0.3888	-0.0938	-0.5908
0.3986	-0.0646	-0.6104
0.4181	-0.0987	-0.5029
0.4279	-0.0646	-0.469
0.4523	-0.0987	-0.2539
0.4474	-0.0694	0.0879
0.4523	-0.0987	0.5566
0.4328	-0.0743	0.8643
0.4328	-0.0987	1.1328
0.4181	-0.0646	1.167
0.4083	-0.0938	1.2158
0.379	-0.0596	1.1035
0.3693	-0.0889	0.9766
0.3498	-0.0499	0.6445
0.3449	-0.0841	0.3369
0.3302	-0.0499	-0.1123
0.34	-0.0841	-0.3467
0.3449	-0.0548	-0.5029
0.3595	-0.0889	-0.5225
0.3644	-0.0596	-0.6201
0.3839	-0.0987	-0.5957
0.3937	-0.0646	-0.6201
0.423	-0.0987	-0.5078
0.4328	-0.0694	-0.4688
0.4474	-0.0987	-0.249
0.4474	-0.0646	0.0977
0.4621	-0.0987	0.5713
0.4376	-0.0694	0.8789
0.4376	-0.1036	1.1572
0.4132	-0.0694	1.1963
0.4083	-0.0938	1.2305
0.379	-0.0646	1.1133
0.3742	-0.0841	0.9863
0.3449	-0.0548	0.6445
0.3449	-0.0841	0.3223
0.3351	-0.0499	-0.1416
0.34	-0.0889	-0.3662
0.3351	-0.0499	-0.5127
0.3546	-0.0841	-0.5322
0.3644	-0.0548	-0.6201
0.3937	-0.0889	-0.5908
0.3986	-0.0646	-0.6152
0.423	-0.0987	-0.5029
0.4279	-0.0743	-0.4639
0.4572	-0.1036	-0.2393
0.4474	-0.0743	0.1123

**HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM**

(Untuk Model 1, H=5 cm T= 1 detik)





Silinder Model 1

Data untuk H=6 cm T=1 detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

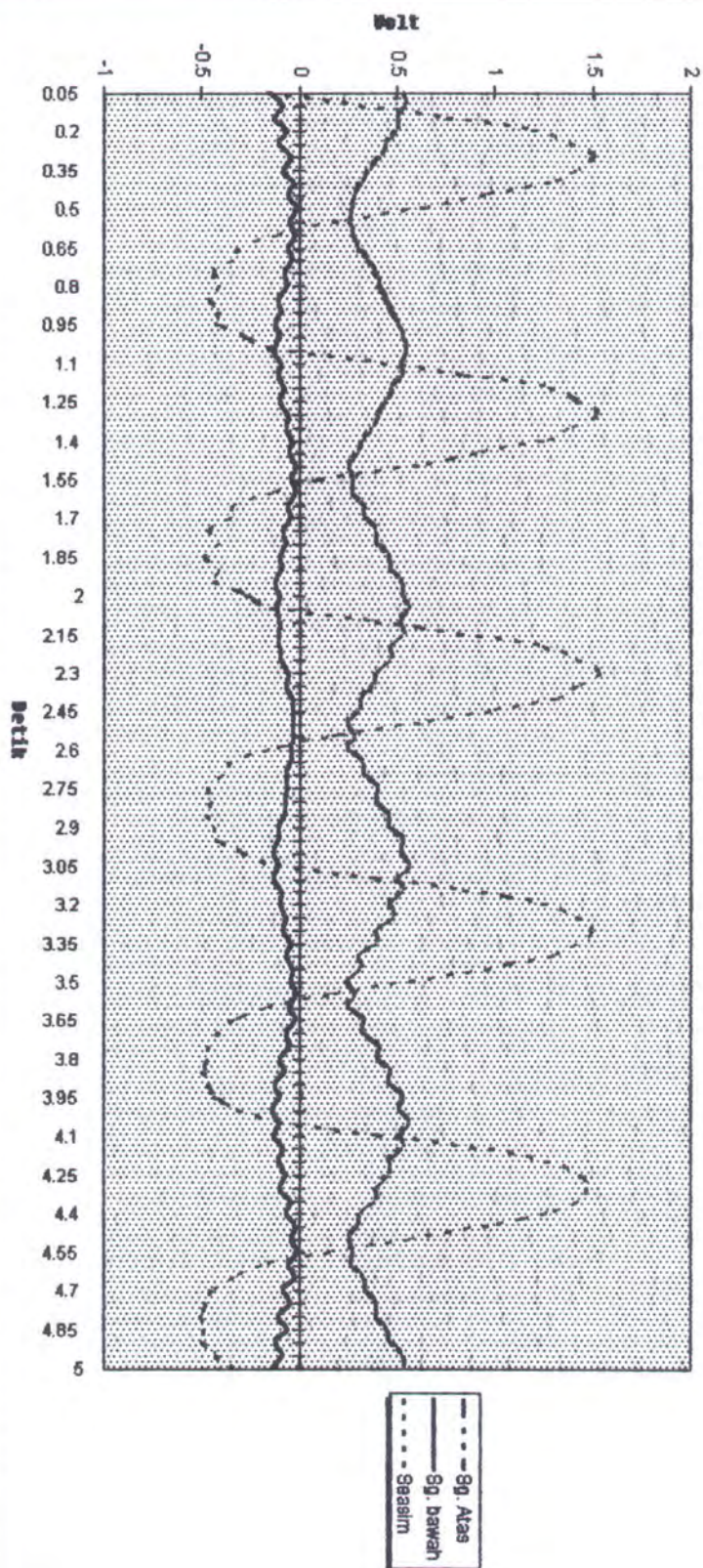
Jumlah data perdetik 20

Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.5225	-0.1465	-0.1709
0.5322	-0.0879	0.2979
0.4932	-0.1367	0.752
0.4883	-0.0635	1.1816
0.4395	-0.1074	1.377
0.4102	-0.0391	1.5039
0.3516	-0.083	1.4111
0.3125	-0.0293	1.2793
0.2783	-0.0635	0.9473
0.2588	-0.0146	0.6445
0.249	-0.0537	0.1953
0.2686	-0.0195	-0.1074
0.293	-0.0635	-0.3076
0.3369	-0.0391	-0.3418
0.376	-0.0781	-0.4492
0.4004	-0.0635	-0.415
0.4395	-0.1074	-0.4736
0.4688	-0.0928	-0.415
0.498	-0.127	-0.4346
0.5225	-0.1025	-0.293
0.542	-0.1318	-0.1465
0.5176	-0.0928	0.4102
0.5127	-0.1123	0.8398
0.4688	-0.0781	1.2695
0.4443	-0.1025	1.4063
0.3955	-0.0635	1.5186
0.3711	-0.0732	1.3721
0.3076	-0.0391	1.25
0.293	-0.0537	0.9033
0.2441	-0.0195	0.6055
0.2637	-0.0439	0.127
0.2588	-0.0244	-0.1318
0.3125	-0.0635	-0.3467
0.3223	-0.0488	-0.3516
0.3809	-0.083	-0.4785
0.3809	-0.0684	-0.4199
0.4492	-0.1025	-0.4932
0.4541	-0.0928	-0.4199
0.5176	-0.1221	-0.4492
0.5176	-0.1025	-0.2881
0.5469	-0.1172	-0.1563
0.5078	-0.1025	0.376
0.5273	-0.1123	0.8057
0.4541	-0.0977	1.2402
0.459	-0.0928	1.4063
0.376	-0.0635	1.5234
0.3711	-0.0684	1.4209
0.3027	-0.0391	1.3086
0.3027	-0.0391	0.9766
0.2393	-0.0342	0.6104
0.2734	-0.0342	0.1367
0.2393	-0.0439	-0.1611

0.3174	-0.0488	-0.3467
0.3174	-0.0684	-0.3908
0.3955	-0.0635	-0.4785
0.3809	-0.0781	-0.4541
0.4541	-0.0781	-0.4883
0.4443	-0.1074	-0.4443
0.5273	-0.1074	-0.4395
0.5078	-0.1318	-0.3027
0.5566	-0.1074	-0.127
0.4932	-0.1318	0.3809
0.5225	-0.0928	0.8301
0.4492	-0.1025	1.2305
0.4785	-0.0732	1.4063
0.3809	-0.083	1.4844
0.3906	-0.0488	1.416
0.293	-0.0684	1.2939
0.3076	-0.0342	0.9717
0.2246	-0.0488	0.6908
0.2734	-0.0195	0.1465
0.2344	-0.0537	-0.1709
0.3223	-0.0244	-0.3369
0.3076	-0.0732	-0.4053
0.3955	-0.0537	-0.4736
0.3857	-0.0977	-0.4785
0.4639	-0.0781	-0.4932
0.4443	-0.1221	-0.4736
0.5225	-0.0977	-0.4443
0.498	-0.1416	-0.3271
0.5566	-0.0977	-0.1172
0.5078	-0.1318	0.3857
0.5273	-0.083	0.8691
0.4541	-0.1123	1.2451
0.4541	-0.0684	1.4258
0.376	-0.0977	1.46
0.376	-0.0439	1.4209
0.2979	-0.0732	1.2598
0.293	-0.0195	0.9619
0.2441	-0.0488	0.5664
0.2637	-0.0098	0.1563
0.2539	-0.0586	-0.2002
0.3125	-0.0244	-0.332
0.3223	-0.0879	-0.4443
0.376	-0.0488	-0.4785
0.376	-0.1123	-0.5078
0.4395	-0.0635	-0.498
0.4541	-0.1221	-0.5078
0.5176	-0.083	-0.4395
0.5225	-0.1416	-0.3467



# **HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM** (Untuk Model 1, B=6 cm T=1 detik)



Sylinder Model 1

Data untuk H=8 cm T=1 detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

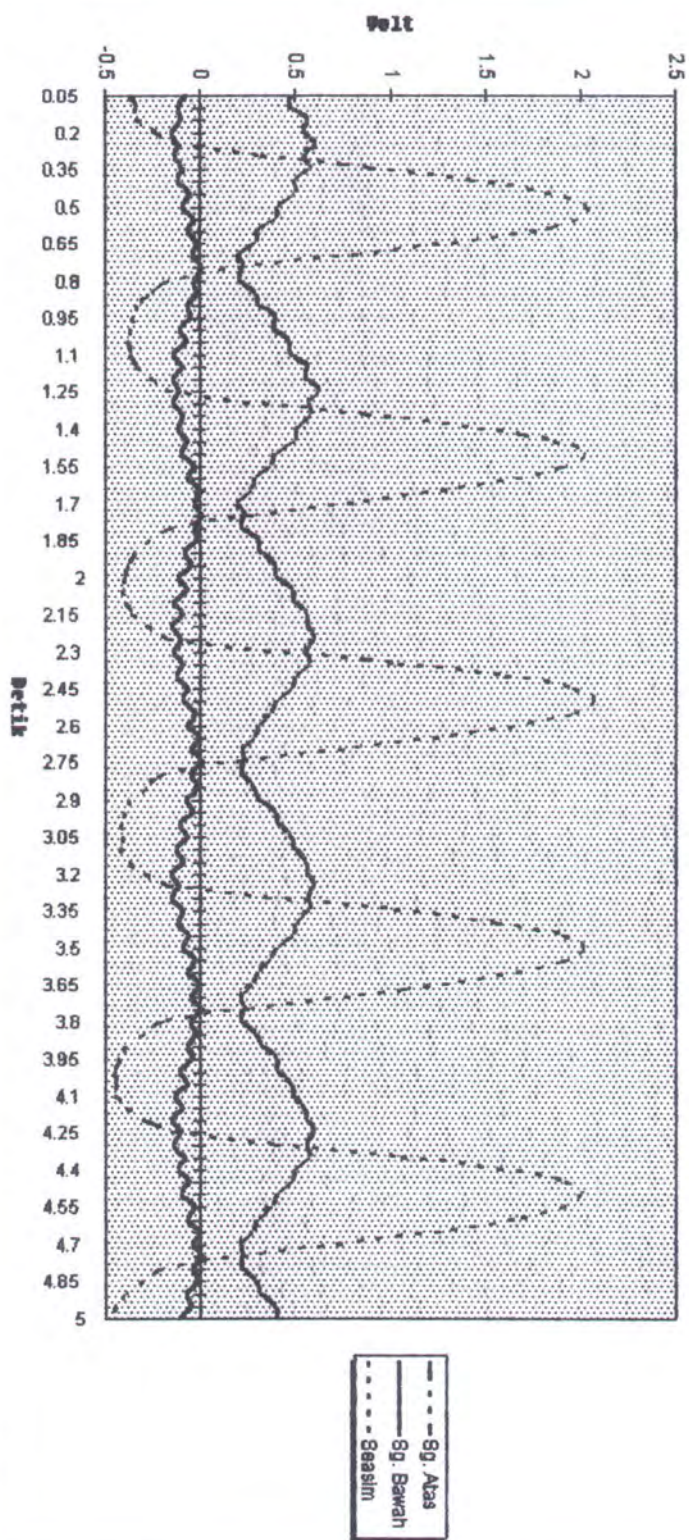
Jumlah data perdetik 20

Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.481	-0.0781	-0.3809
0.4517	-0.1221	-0.3516
0.5543	-0.1025	-0.3467
0.5298	-0.1514	-0.249
0.5982	-0.1172	-0.1367
0.5347	-0.1367	0.3076
0.5689	-0.0928	0.8838
0.4761	-0.1172	1.4111
0.4859	-0.0635	1.8066
0.398	-0.0928	2.0215
0.3834	-0.0391	1.9873
0.2857	-0.0684	1.7627
0.2857	-0.0146	1.3525
0.1832	-0.0439	0.8301
0.2222	0.0049	0.2246
0.1929	-0.0391	-0.1709
0.2808	-0.0146	-0.2734
0.2955	-0.0732	-0.3271
0.3882	-0.0488	-0.3613
0.3687	-0.1074	-0.3662
0.4566	-0.0781	-0.3906
0.4615	-0.1416	-0.376
0.5543	-0.0977	-0.3467
0.5396	-0.1465	-0.2686
0.6129	-0.1074	-0.1855
0.5543	-0.1416	0.2197
0.5738	-0.0928	0.8594
0.4908	-0.1221	1.4551
0.4859	-0.0684	1.8506
0.3882	-0.1025	2.0068
0.3638	-0.0342	1.9287
0.2759	-0.0684	1.6846
0.2613	0	1.2891
0.188	-0.0391	0.8008
0.2271	0.0098	0.2783
0.2027	-0.0391	-0.1416
0.2906	-0.0146	-0.2734
0.3052	-0.083	-0.3418
0.3785	-0.0488	-0.3906
0.3882	-0.1172	-0.4102
0.4713	-0.0684	-0.415
0.4761	-0.1416	-0.4102
0.5494	-0.0928	-0.376
0.5494	-0.1514	-0.293
0.5884	-0.1025	-0.1807
0.5396	-0.1416	0.3271
0.564	-0.0928	1.0254
0.4859	-0.127	1.5918
0.4713	-0.0684	1.9482
0.3931	-0.0977	2.0605
0.3638	-0.0293	1.9531
0.2906	-0.0684	1.6504



0.2759	0	1.2451
0.2076	-0.0488	0.7471
0.2222	0.0049	0.2148
0.1978	-0.0537	-0.1904
0.2711	-0.0195	-0.2881
0.2906	-0.0781	-0.376
0.3785	-0.0439	-0.4053
0.398	-0.1074	-0.4248
0.4615	-0.0684	-0.415
0.4761	-0.1318	-0.4248
0.5396	-0.0977	-0.3809
0.5445	-0.1563	-0.3076
0.5933	-0.1123	-0.1807
0.5591	-0.1514	0.3369
0.564	-0.0928	1.0156
0.4908	-0.1221	1.5479
0.4761	-0.0635	1.8994
0.3931	-0.0977	2.002
0.3589	-0.0293	1.9336
0.2906	-0.0732	1.6846
0.2662	-0.0049	1.3037
0.1978	-0.0488	0.7861
0.2222	0.0049	0.249
0.2027	-0.0488	-0.1953
0.2759	-0.0244	-0.293
0.315	-0.0732	-0.3955
0.3882	-0.0439	-0.4199
0.398	-0.1074	-0.4541
0.4615	-0.0732	-0.4482
0.4713	-0.1367	-0.4541
0.5347	-0.0977	-0.4004
0.5445	-0.1563	-0.3174
0.5884	-0.1025	-0.1611
0.5494	-0.1465	0.376
0.564	-0.0879	1.0449
0.4908	-0.1221	1.5576
0.4713	-0.0635	1.9043
0.398	-0.1025	1.9971
0.3736	-0.0342	1.9189
0.2906	-0.0732	1.6504
0.2711	-0.0049	1.2549
0.1978	-0.0439	0.7422
0.2125	0.0098	0.2441
0.1978	-0.0439	-0.1953
0.2808	-0.0146	-0.3027
0.3004	-0.0781	-0.4053
0.3785	-0.0488	-0.4395
0.3882	-0.1123	-0.4785

# **HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM** (Untuk Model 1, H=8 cm T=1 detik)





Slinder Model 2

Data untuk H=4 cm T=1 detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

Jumlah data perdetik 20

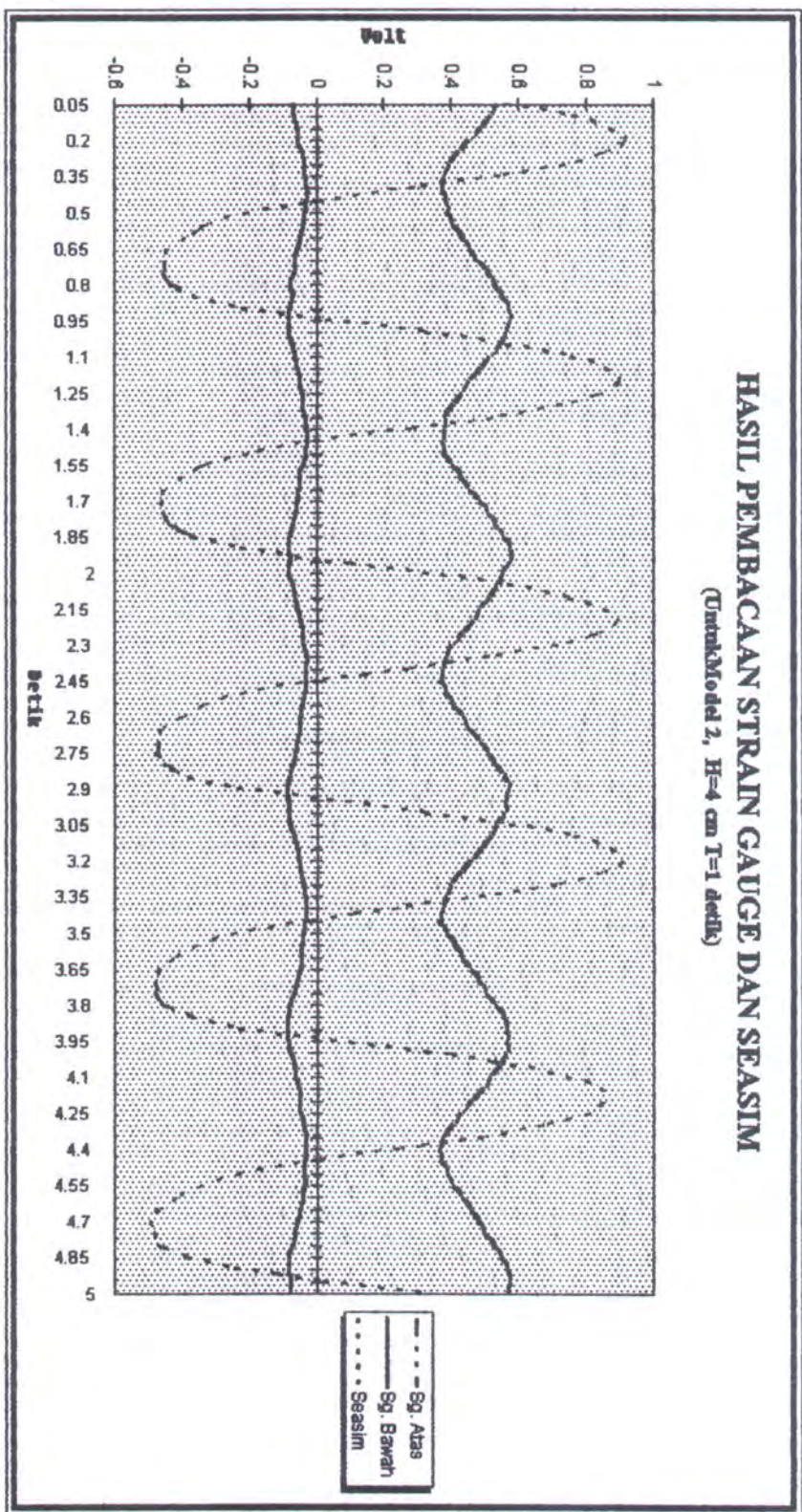
Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.5371	-0.0732	0.5518
0.5176	-0.0684	0.762
0.4883	-0.0586	0.8643
0.4541	-0.0586	0.9131
0.4248	-0.0439	0.8594
0.3955	-0.0391	0.7373
0.376	-0.0342	0.542
0.3662	-0.0293	0.2881
0.3809	-0.0293	0.0196
0.3857	-0.0342	-0.2051
0.4004	-0.0391	-0.3223
0.4297	-0.0488	-0.3906
0.4492	-0.0586	-0.4443
0.4688	-0.0684	-0.4541
0.5078	-0.0684	-0.459
0.5273	-0.0781	-0.4396
0.5469	-0.0732	-0.3711
0.5664	-0.0781	-0.2246
0.5713	-0.083	0.0244
0.5566	-0.083	0.3174
0.542	-0.0732	0.5566
0.5127	-0.0684	0.7471
0.4883	-0.0586	0.8496
0.4541	-0.0537	0.8936
0.4297	-0.0439	0.8447
0.4053	-0.0439	0.7275
0.376	-0.0342	0.5225
0.376	-0.0293	0.2783
0.3711	-0.0293	0.0049
0.376	-0.0342	-0.2051
0.4004	-0.0391	-0.332
0.4248	-0.0537	-0.4004
0.4492	-0.0537	-0.4541
0.4785	-0.0586	-0.4639
0.5029	-0.0635	-0.469
0.5322	-0.0732	-0.4396
0.5469	-0.0781	-0.3711
0.5713	-0.083	-0.2296
0.5713	-0.0781	0.0244
0.5469	-0.083	0.3125
0.5371	-0.0732	0.5615
0.5127	-0.0684	0.7422
0.4834	-0.0586	0.8447
0.4688	-0.0488	0.8838
0.4346	-0.0439	0.8301
0.4004	-0.0391	0.7129
0.3809	-0.0293	0.5127
0.3711	-0.0342	0.2686
0.3662	-0.0342	0.0049
0.3809	-0.0342	-0.2148
0.4004	-0.0439	-0.3369
0.4297	-0.0488	-0.4004

0.4443	-0.0537	-0.4639
0.4785	-0.0586	-0.4736
0.5029	-0.0635	-0.4785
0.5225	-0.0732	-0.459
0.5566	-0.0781	-0.3857
0.5664	-0.0879	-0.2393
0.5566	-0.083	0.0293
0.5566	-0.083	0.3174
0.5371	-0.0781	0.5664
0.5176	-0.0684	0.7568
0.4883	-0.0586	0.8691
0.4639	-0.0537	0.9033
0.4297	-0.0488	0.8447
0.4004	-0.0391	0.708
0.3857	-0.0342	0.498
0.3711	-0.0342	0.2393
0.3613	-0.0342	-0.0195
0.3809	-0.0391	-0.2393
0.4053	-0.0439	-0.3516
0.4248	-0.0488	-0.4248
0.4541	-0.0488	-0.4639
0.4785	-0.0586	-0.4834
0.498	-0.0684	-0.4834
0.5273	-0.0781	-0.4639
0.5518	-0.083	-0.376
0.5615	-0.0879	-0.2344
0.5615	-0.083	0.0391
0.5615	-0.0781	0.3223
0.542	-0.0684	0.5713
0.5176	-0.0684	0.7373
0.498	-0.0537	0.835
0.4639	-0.0537	0.8496
0.4248	-0.0488	0.8105
0.4053	-0.0391	0.6738
0.376	-0.0342	0.4932
0.3613	-0.0342	0.2441
0.3662	-0.0342	0
0.3857	-0.0391	-0.2246
0.4004	-0.0342	-0.3418
0.4248	-0.0439	-0.4199
0.4541	-0.0488	-0.4688
0.4785	-0.0586	-0.498
0.4932	-0.0684	-0.4883
0.5273	-0.0732	-0.4785
0.542	-0.083	-0.3906
0.5615	-0.083	-0.249
0.5713	-0.0781	0.0146
0.5615	-0.0781	0.3125



# HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM

(Untuk Model 2,  $H=4$  cm  $T=1$  detik)



Silinder Model 2

Data untuk H=5 cm T=1 Detik

Jumlah channel terpasang 3

Jumlah data 100

Jumlah data perdetik 20

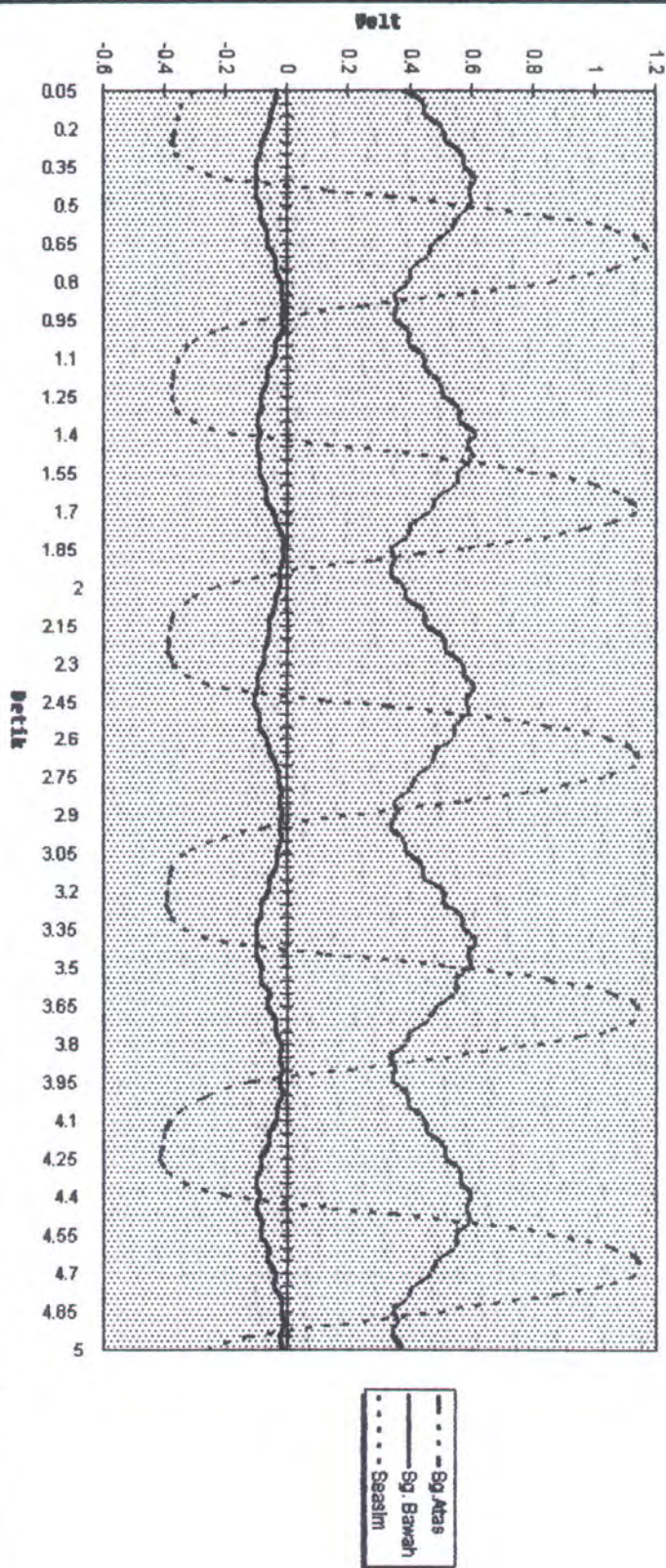
Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.3819	-0.0391	-0.3027
0.4356	-0.0439	-0.3518
0.4454	-0.0586	-0.3613
0.4991	-0.0635	-0.3711
0.5089	-0.083	-0.3809
0.5626	-0.0879	-0.3662
0.5724	-0.1025	-0.3271
0.6065	-0.0977	-0.2002
0.587	-0.1025	0.1318
0.5919	-0.0879	0.5273
0.5431	-0.0879	0.8496
0.5284	-0.0684	1.0596
0.4698	-0.0684	1.1523
0.4552	-0.0439	1.1426
0.3966	-0.0439	1.0547
0.3917	-0.0244	0.8643
0.3429	-0.0244	0.5713
0.3526	-0.0146	0.2441
0.3429	-0.0244	-0.0732
0.3868	-0.0195	-0.2393
0.3917	-0.0439	-0.3223
0.4405	-0.0439	-0.3564
0.4454	-0.0684	-0.376
0.4893	-0.0684	-0.3809
0.4991	-0.0879	-0.3809
0.5528	-0.083	-0.3711
0.5577	-0.0977	-0.3174
0.6065	-0.0879	-0.1904
0.5821	-0.0977	0.127
0.5968	-0.0879	0.498
0.5479	-0.0928	0.791
0.5431	-0.0732	0.9961
0.4796	-0.0732	1.0938
0.4649	-0.0488	1.1328
0.4015	-0.0391	1.0449
0.3868	-0.0195	0.8545
0.3331	-0.0195	0.5713
0.3477	-0.0195	0.2734
0.3331	-0.0293	-0.0391
0.3722	-0.0293	-0.2393
0.3819	-0.0439	-0.3223
0.4405	-0.0488	-0.3711
0.4454	-0.0635	-0.3857
0.4991	-0.0635	-0.3906
0.5089	-0.0781	-0.3955
0.5626	-0.0781	-0.3809
0.5675	-0.0977	-0.3369
0.6017	-0.0977	-0.21
0.5772	-0.1074	0.1221
0.5821	-0.0928	0.5176
0.5333	-0.0928	0.835
0.5333	-0.0684	1.0352



0.4796	-0.0635	1.123
0.4649	-0.0391	1.1279
0.4112	-0.0342	1.0303
0.3966	-0.0244	0.8398
0.3429	-0.0293	0.5615
0.3526	-0.0195	0.249
0.3282	-0.0293	-0.0732
0.3722	-0.0244	-0.249
0.3819	-0.0391	-0.332
0.4308	-0.0391	-0.376
0.4405	-0.0635	-0.3906
0.4991	-0.0635	-0.3955
0.504	-0.0879	-0.4004
0.5626	-0.0879	-0.3857
0.5675	-0.1025	-0.3467
0.6065	-0.0977	-0.2148
0.5821	-0.1025	0.1221
0.587	-0.083	0.5225
0.5479	-0.0879	0.8447
0.5382	-0.0586	1.0498
0.4845	-0.0684	1.1279
0.4601	-0.0439	1.1279
0.3966	-0.0439	1.0303
0.3819	-0.0244	0.8301
0.3331	-0.0293	0.5322
0.3477	-0.0195	0.2148
0.338	-0.0293	-0.1025
0.3819	-0.0195	-0.2588
0.3917	-0.0391	-0.3418
0.4405	-0.0391	-0.3809
0.4503	-0.0635	-0.4053
0.4991	-0.0635	-0.4102
0.5089	-0.0879	-0.4199
0.5677	-0.0879	-0.4004
0.5577	-0.1025	-0.3418
0.5919	-0.0928	-0.2051
0.5772	-0.1025	0.1416
0.587	-0.083	0.5371
0.5479	-0.0879	0.8496
0.5382	-0.0635	1.0498
0.4845	-0.0684	1.1328
0.4649	-0.0439	1.1279
0.4063	-0.0488	1.0205
0.3868	-0.0244	0.8105
0.3429	-0.0244	0.5078
0.3526	-0.0098	0.2002
0.338	-0.0293	-0.1074
0.3722	-0.0195	-0.2637

# HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM

(Untuk Model 2, H=5 cm T=1 detik)





Silinder Model 2

Data untuk H=6 cm T=1 detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

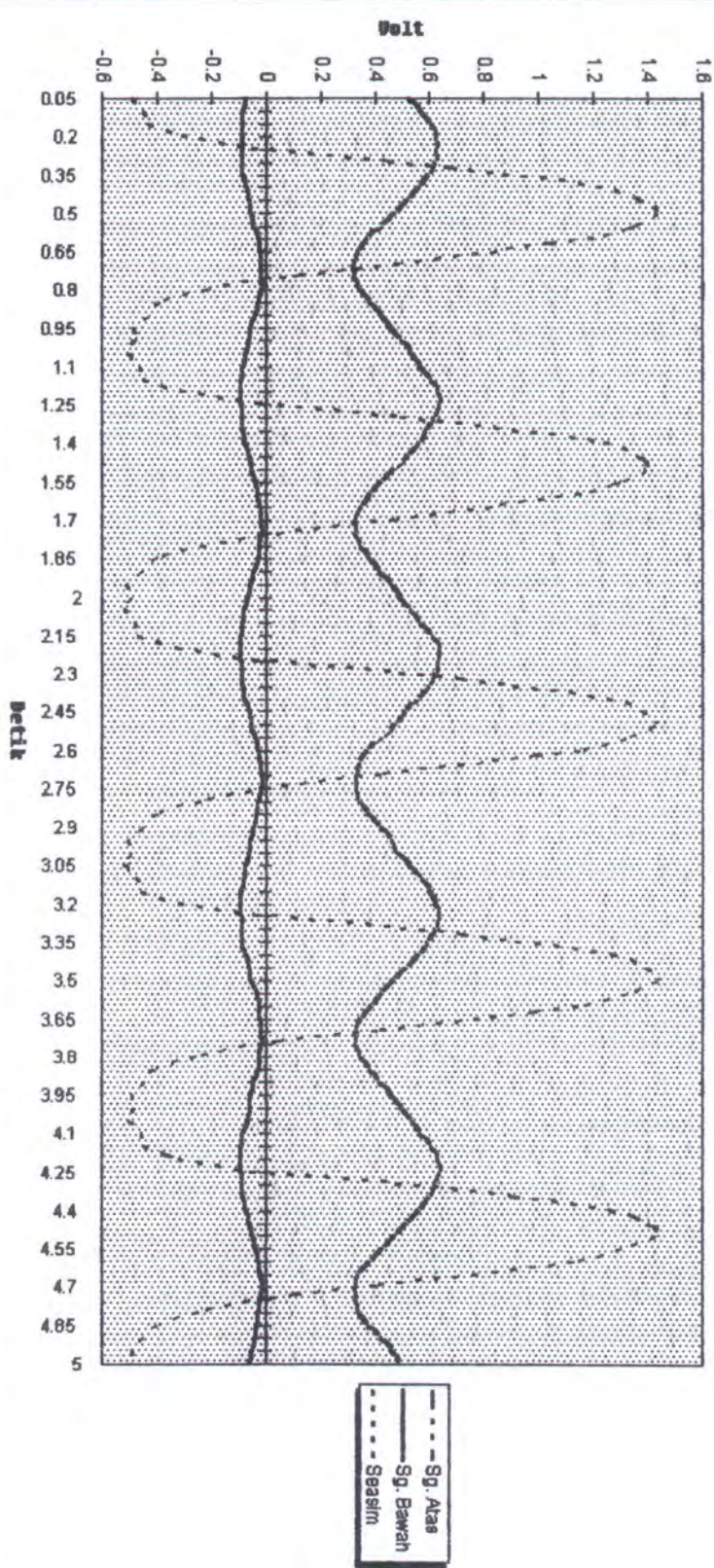
Jumlah data perdetik 20

Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.5168	-0.0732	-0.498
0.5608	-0.083	-0.4541
0.5949	-0.0879	-0.4395
0.6194	-0.0928	-0.3125
0.6194	-0.0879	-0.0537
0.6194	-0.0879	0.4443
0.5949	-0.083	0.8643
0.5608	-0.0732	1.2061
0.5217	-0.0586	1.3574
0.4778	-0.0537	1.4258
0.424	-0.0439	1.3477
0.3752	-0.0293	1.1963
0.341	-0.0195	0.8447
0.3166	-0.0195	0.4883
0.3215	-0.0195	0.0684
0.3313	-0.0146	-0.2148
0.3801	-0.0293	-0.3906
0.4192	-0.0391	-0.4297
0.4533	-0.0537	-0.4883
0.4875	-0.0635	-0.4785
0.5315	-0.0732	-0.5127
0.5608	-0.083	-0.4688
0.5949	-0.0928	-0.459
0.6242	-0.0977	-0.3174
0.6291	-0.0928	-0.0293
0.6145	-0.0879	0.4883
0.5852	-0.083	0.9033
0.5608	-0.0781	1.2354
0.5217	-0.0635	1.3525
0.4729	-0.0537	1.3916
0.424	-0.0391	1.2988
0.385	-0.0342	1.1523
0.3508	-0.0195	0.8252
0.3215	-0.0195	0.4688
0.3215	-0.0146	0.0586
0.341	-0.0244	-0.2246
0.3752	-0.0293	-0.4004
0.4094	-0.0439	-0.4492
0.4533	-0.0537	-0.5127
0.4875	-0.0684	-0.498
0.5217	-0.0781	-0.5273
0.5559	-0.083	-0.4834
0.6047	-0.0928	-0.4736
0.6291	-0.0977	-0.332
0.6242	-0.0928	-0.0488
0.6194	-0.0879	0.4834
0.5949	-0.083	0.9033
0.5559	-0.0781	1.2451
0.5119	-0.0635	1.3721
0.4778	-0.0537	1.4209
0.424	-0.0391	1.3184
0.3752	-0.0293	1.1475

0.341	-0.0195	0.791
0.3264	-0.0146	0.4199
0.3264	-0.0146	0.0146
0.3361	-0.0244	-0.2393
0.3752	-0.0342	-0.4004
0.4143	-0.0439	-0.4443
0.4533	-0.0537	-0.5078
0.4729	-0.0635	-0.498
0.5217	-0.0732	-0.5273
0.5608	-0.0781	-0.4785
0.5998	-0.0928	-0.4639
0.6194	-0.0977	-0.3223
0.634	-0.0928	-0.0488
0.6194	-0.0928	0.4883
0.5901	-0.0879	0.9131
0.5608	-0.0732	1.2646
0.5168	-0.0635	1.3867
0.4729	-0.0537	1.4355
0.424	-0.0342	1.3232
0.3899	-0.0293	1.1426
0.3508	-0.0195	0.7813
0.3215	-0.0195	0.4102
0.3215	-0.0146	-0.0098
0.341	-0.0244	-0.2539
0.3752	-0.0293	-0.4102
0.4094	-0.0439	-0.4443
0.4533	-0.0537	-0.498
0.4924	-0.0635	-0.4834
0.5266	-0.0684	-0.5078
0.5559	-0.083	-0.4639
0.5998	-0.0879	-0.4541
0.6242	-0.0977	-0.3223
0.6291	-0.0928	-0.0586
0.6145	-0.0928	0.4688
0.5998	-0.083	0.9082
0.5608	-0.0732	1.2549
0.5168	-0.0635	1.3916
0.4778	-0.0488	1.4258
0.4338	-0.0391	1.3037
0.385	-0.0244	1.123
0.341	-0.0195	0.7764
0.3215	-0.0146	0.4053
0.3215	-0.0195	0.0049
0.3313	-0.0244	-0.249
0.3703	-0.0342	-0.4004
0.4143	-0.0391	-0.4492
0.4582	-0.0488	-0.498
0.4826	-0.0586	-0.4932



# HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM (Untuk Model 2, H=6 cm T=1 detik)



Silinder Model 2

Data untuk  $H=8$  cm  $T=1$  detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

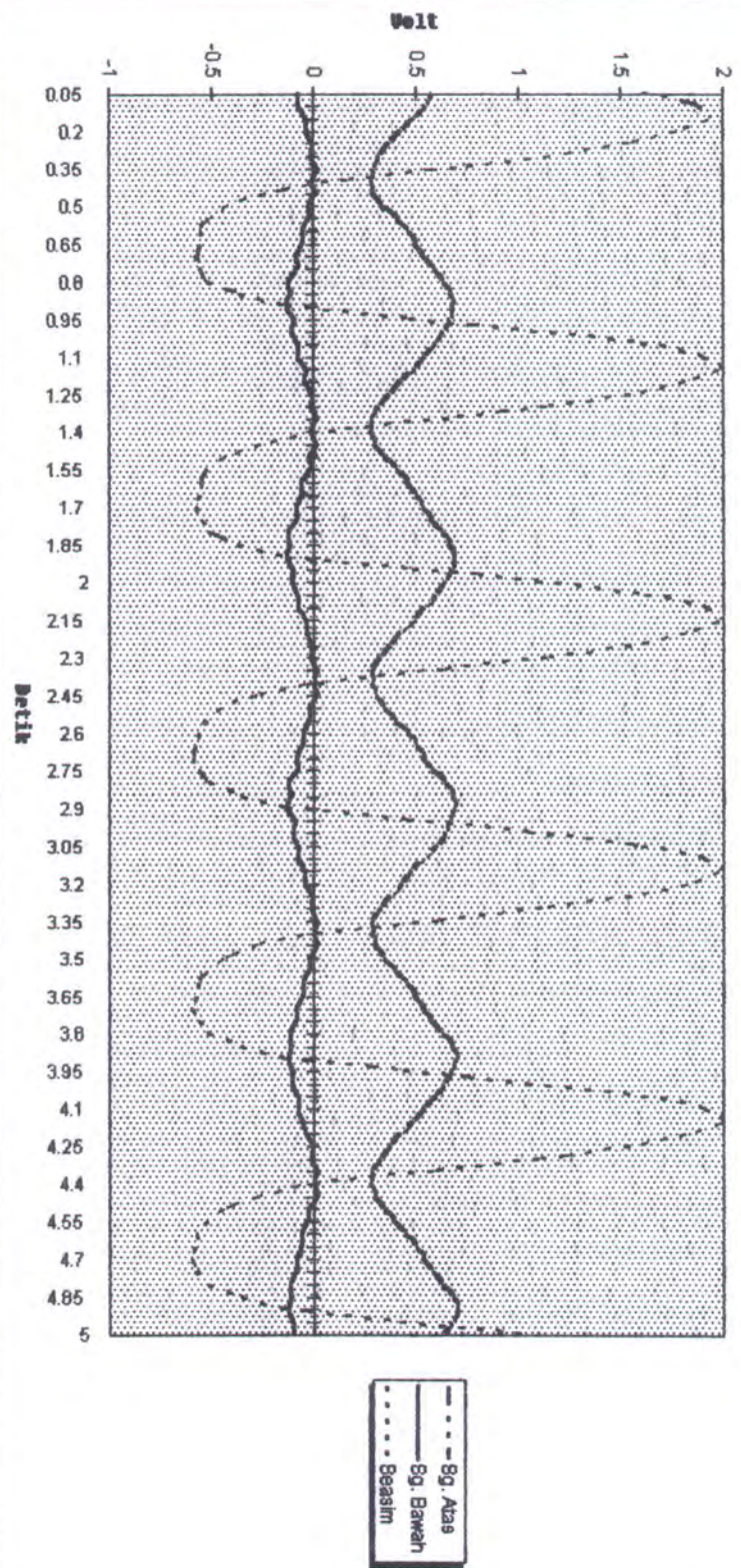
Jumlah data perdetik 20

Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.5814	-0.083	1.5967
0.5472	-0.083	1.8701
0.4935	-0.0439	1.9287
0.43	-0.0439	1.7725
0.3714	-0.0098	1.5332
0.3226	-0.0146	1.1523
0.2884	0.0146	0.6982
0.2787	-0.0098	0.166
0.2884	0.0049	-0.2393
0.3275	-0.0244	-0.415
0.3959	-0.0244	-0.5127
0.4496	-0.0586	-0.5615
0.4935	-0.0537	-0.5566
0.5326	-0.0928	-0.5762
0.5814	-0.083	-0.5566
0.6254	-0.127	-0.5273
0.6644	-0.1123	-0.3711
0.6742	-0.1367	-0.1485
0.6644	-0.0977	0.459
0.6351	-0.1123	1.0547
0.5961	-0.0781	1.5918
0.5375	-0.0781	1.8896
0.4935	-0.0439	1.9727
0.43	-0.0488	1.8115
0.3763	-0.0098	1.5479
0.3177	-0.0195	1.1377
0.2836	0.0146	0.6592
0.2738	-0.0146	0.1025
0.2982	0.0098	-0.2637
0.3324	-0.0293	-0.4346
0.4007	-0.0195	-0.5176
0.4496	-0.0636	-0.5666
0.4935	-0.0537	-0.5566
0.5228	-0.0928	-0.5811
0.5716	-0.0879	-0.5518
0.6205	-0.127	-0.5225
0.6595	-0.1172	-0.376
0.6791	-0.1367	-0.1416
0.6693	-0.1025	0.4736
0.64	-0.1123	1.084
0.5961	-0.0781	1.6162
0.5375	-0.0781	1.9092
0.4886	-0.0391	1.9727
0.4262	-0.0439	1.8164
0.3714	-0.0098	1.5479
0.3275	-0.0195	1.1377
0.2836	0.0146	0.625
0.2787	-0.0049	0.0439
0.2933	0.0146	-0.2832
0.3324	-0.0244	-0.4541
0.391	-0.0244	-0.5225
0.4496	-0.0586	-0.5713



0.4886	-0.0586	-0.5762
0.5326	-0.0928	-0.5957
0.5716	-0.083	-0.5664
0.6302	-0.127	-0.5225
0.6693	-0.1123	-0.3613
0.6839	-0.1367	-0.1416
0.6595	-0.0977	0.4541
0.64	-0.1074	1.04
0.6009	-0.0781	1.5918
0.5423	-0.083	1.8994
0.474	-0.0488	1.9775
0.43	-0.0488	1.8213
0.3763	-0.0098	1.543
0.3275	-0.0195	1.1133
0.2787	0.0146	0.6006
0.2787	0	0.0391
0.2982	0.0098	-0.2783
0.3373	-0.0293	-0.4395
0.391	-0.0293	-0.5176
0.4447	-0.0586	-0.5713
0.4886	-0.0586	-0.5762
0.5277	-0.0928	-0.6055
0.5668	-0.0879	-0.5713
0.6205	-0.1221	-0.5322
0.6742	-0.1123	-0.3662
0.6888	-0.1318	-0.1563
0.6693	-0.1025	0.4297
0.6351	-0.1123	1.0303
0.5961	-0.0781	1.5918
0.5423	-0.083	1.8994
0.4838	-0.0537	1.9873
0.4252	-0.0439	1.8115
0.3763	-0.0098	1.5332
0.3275	-0.0146	1.0938
0.2836	0.0146	0.5811
0.2738	-0.0049	0.0195
0.2982	0.0098	-0.2783
0.3373	-0.0244	-0.4443
0.391	-0.0342	-0.5225
0.4398	-0.0635	-0.5811
0.4886	-0.0635	-0.5859
0.5326	-0.0928	-0.6055
0.5716	-0.0879	-0.5762
0.6156	-0.1221	-0.5273
0.6693	-0.1123	-0.3613
0.6937	-0.1318	-0.166
0.6742	-0.1074	0.4102
0.6351	-0.1074	1.0059

# **HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM** (Untuk Model 2, H=8 cm T=1detik)





Silinder Model 3

Data untuk H=4 cm T=1 detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

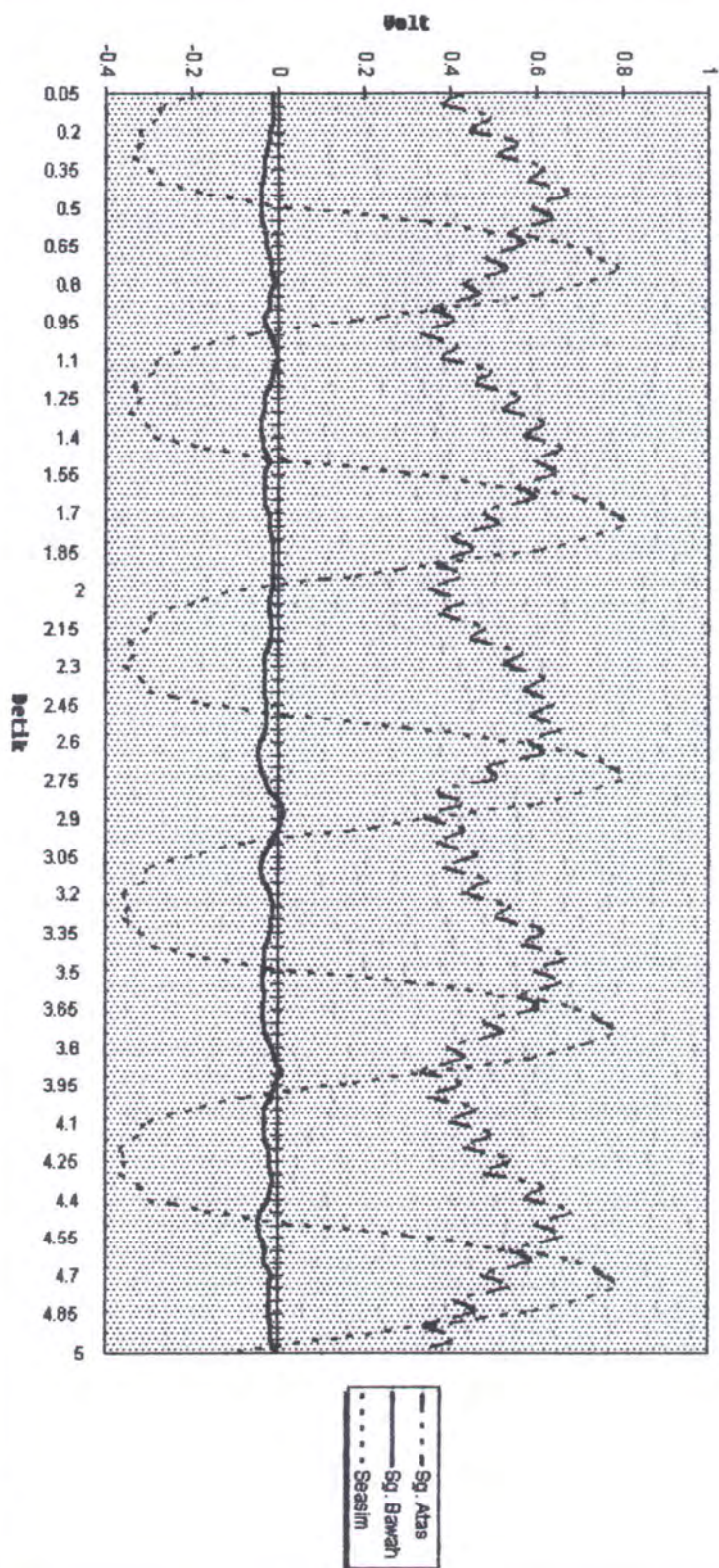
Jumlah data perdetik 20

Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.4305	-0.0131	-0.1758
0.3816	-0.0131	-0.2734
0.489	-0.0131	-0.2832
0.4402	-0.018	-0.3271
0.5525	-0.0229	-0.3174
0.5037	-0.0278	-0.3418
0.616	-0.0327	-0.3027
0.5769	-0.0376	-0.2832
0.6746	-0.0424	-0.186
0.5867	-0.0424	0.0146
0.6355	-0.0424	0.2832
0.533	-0.0278	0.4834
0.5672	-0.0278	0.6689
0.4793	-0.018	0.7422
0.5281	-0.018	0.7813
0.4256	-0.0083	0.7031
0.4646	-0.0229	0.6006
0.3572	-0.0229	0.3906
0.406	-0.0327	0.1807
0.3279	-0.018	-0.0586
0.4109	-0.0083	-0.1856
0.3767	0.0015	-0.2832
0.489	-0.0131	-0.2881
0.4549	-0.018	-0.3418
0.5574	-0.0327	-0.3223
0.5183	-0.0327	-0.3467
0.616	-0.0424	-0.3125
0.5672	-0.0376	-0.293
0.6551	-0.0327	-0.1758
0.5916	-0.0229	0.0146
0.6453	-0.0327	0.2881
0.5525	-0.0278	0.5029
0.5916	-0.0327	0.6982
0.4793	-0.0229	0.7715
0.5037	-0.0229	0.7959
0.4012	-0.0131	0.7129
0.45	-0.0131	0.6055
0.3621	-0.0131	0.3857
0.4207	-0.0131	0.166
0.3474	-0.0131	-0.0732
0.4256	-0.0229	-0.1953
0.3719	-0.018	-0.2979
0.4793	-0.018	-0.3027
0.4451	-0.018	-0.3467
0.5623	-0.0278	-0.332
0.5232	-0.0327	-0.3613
0.616	-0.0327	-0.3223
0.5672	-0.0327	-0.3027
0.6404	-0.0278	-0.1758
0.5818	-0.0278	0.0195
0.6599	-0.0278	0.2979

0.5769	-0.0424	0.5127
0.6111	-0.0473	0.6982
0.4842	-0.0424	0.7666
0.4988	-0.0278	0.7959
0.367	-0.018	0.7031
0.4256	0.0064	0.5908
0.3977	0.0064	0.3711
0.4305	-0.0034	0.166
0.367	-0.018	-0.0781
0.4598	-0.0327	-0.2002
0.3816	-0.0424	-0.3027
0.4842	-0.0327	-0.3125
0.4266	-0.018	-0.3613
0.533	-0.0131	-0.3467
0.5037	-0.0131	-0.3613
0.616	-0.018	-0.3271
0.5623	-0.0278	-0.2979
0.6697	-0.0327	-0.1758
0.5916	-0.0327	0.0244
0.6599	-0.0376	0.3027
0.5574	-0.0327	0.5127
0.6062	-0.0376	0.6886
0.4744	-0.0327	0.7471
0.5183	-0.0278	0.7764
0.3914	-0.0131	0.6886
0.4305	-0.0083	0.5859
0.3279	0.0064	0.3662
0.4207	-0.0083	0.1611
0.3474	-0.0131	-0.0781
0.4549	-0.0327	-0.2002
0.3963	-0.0278	-0.3076
0.4939	-0.0327	-0.3223
0.4305	-0.0229	-0.3711
0.5379	-0.0229	-0.3564
0.4793	-0.0131	-0.3711
0.6111	-0.0131	-0.3271
0.5721	-0.0229	-0.3027
0.6844	-0.0424	-0.1709
0.5916	-0.0473	0.0196
0.6648	-0.0424	0.3027
0.5379	-0.0278	0.5127
0.5867	-0.0327	0.6934
0.4696	-0.0131	0.752
0.5379	-0.0229	0.7764
0.406	-0.0229	0.6934
0.4598	-0.0229	0.5762
0.3377	-0.0131	0.3516
0.406	-0.018	0.1416
0.3279	-0.0034	-0.0977



# HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM (Untuk Model 3, H=4 cm T=1 Detik)



Silinder Model 3

Data untuk H=5 cm T=1 detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

Jumlah data perdetik 20

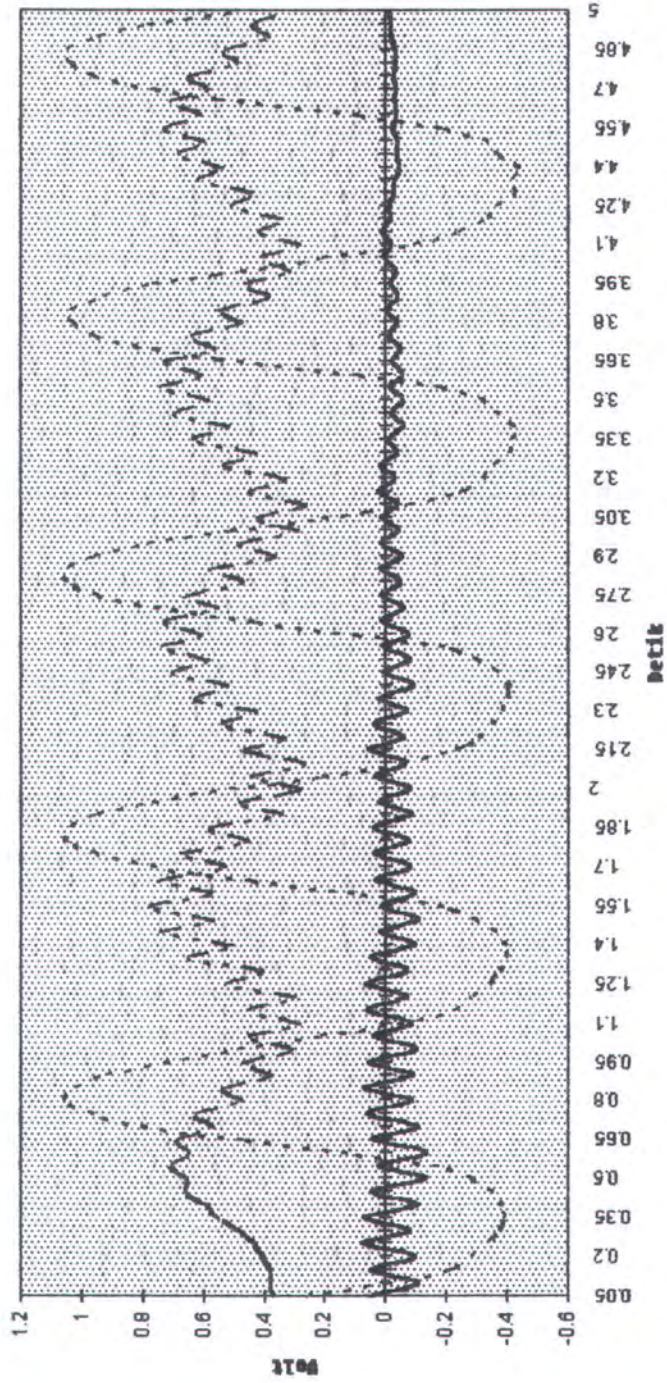
Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.3662	0.0496	0.2588
0.376	-0.1066	-0.0049
0.3711	0.0496	-0.21
0.4004	-0.0969	-0.2832
0.4297	0.074	-0.3369
0.4736	-0.0822	-0.3711
0.5469	0.0692	-0.3955
0.5811	-0.1066	-0.3857
0.6543	0.0447	-0.3564
0.6445	-0.1359	-0.2881
0.7031	0.0252	-0.1758
0.6396	-0.1359	0.1221
0.6836	0.0447	0.4639
0.5615	-0.1115	0.7813
0.625	0.0594	0.957
0.4688	-0.0871	1.0498
0.5371	0.0692	1.0205
0.3662	-0.092	0.918
0.4736	0.0545	0.7324
0.3027	-0.1017	0.4883
0.4492	0.0399	0.2148
0.2783	-0.0871	-0.0391
0.4492	0.0594	-0.2246
0.293	-0.0724	-0.2881
0.5225	0.0643	-0.3418
0.3955	-0.0724	-0.3711
0.6445	0.0496	-0.4053
0.498	-0.0969	-0.3955
0.7373	0.0154	-0.3662
0.5615	-0.1115	-0.3027
0.7715	0.0106	-0.1953
0.5664	-0.0969	0.1025
0.7422	0.035	0.4395
0.5176	-0.0822	0.752
0.6787	0.0399	0.9473
0.4443	-0.0773	1.04
0.5762	0.0399	1.0352
0.3369	-0.0871	0.9473
0.4834	0.0252	0.7666
0.2686	-0.0822	0.5127
0.4395	0.035	0.21
0.2588	-0.0676	-0.0537
0.459	0.0545	-0.2295
0.3223	-0.0627	-0.3027
0.5371	0.0399	-0.3467
0.4199	-0.0724	-0.3857
0.625	0.0203	-0.4053
0.5127	-0.092	-0.4053
0.6982	0.0057	-0.3711
0.5762	-0.0822	-0.3076
0.7373	0.0057	-0.2002



0.5957	-0.0773	0.0879
0.7227	0.0106	0.4297
0.5469	-0.0627	0.7422
0.6543	0.0106	0.9424
0.459	-0.0529	1.04
0.5713	0.0154	1.04
0.3564	-0.0578	0.957
0.4785	0.0106	0.7813
0.2832	-0.048	0.5078
0.4248	0.0106	0.2051
0.2539	-0.0383	-0.0781
0.4443	0.0252	-0.2441
0.3223	-0.0285	-0.3223
0.5322	0.0154	-0.3564
0.4199	-0.0431	-0.4102
0.6299	-0.009	-0.4199
0.5078	-0.0627	-0.4297
0.6934	-0.0187	-0.376
0.5762	-0.0578	-0.332
0.7422	-0.0138	-0.1904
0.5957	-0.0578	0.0879
0.7227	-0.0187	0.4639
0.5566	-0.0529	0.7471
0.6396	-0.009	0.9521
0.4688	-0.0383	1.0205
0.5518	0.0008	1.0352
0.376	-0.0383	0.9229
0.4639	-0.0138	0.7666
0.3076	-0.0334	0.4785
0.4102	0.0008	0.21
0.2783	-0.0187	-0.0928
0.415	0.0106	-0.2393
0.3369	-0.0187	-0.3369
0.5029	-0.009	-0.3613
0.4346	-0.0285	-0.4297
0.6152	-0.0285	-0.4199
0.5322	-0.048	-0.4492
0.6787	-0.0334	-0.3809
0.5908	-0.0431	-0.3418
0.7227	-0.0236	-0.1904
0.6055	-0.0334	0.0879
0.708	-0.0285	0.4688
0.5762	-0.0334	0.752
0.6445	-0.0285	0.957
0.4834	-0.0334	1.0254
0.5322	-0.0285	1.0449
0.376	-0.0187	0.9424
0.4346	-0.0187	0.7813
0.3125	-0.009	0.4688

## HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM

(Untuk Model 3,  $H=5$  cm  $T=1$  Detik)





## Silinder Model 3

Data untuk H=6 cm T=1 detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

Jumlah data perdetik 20

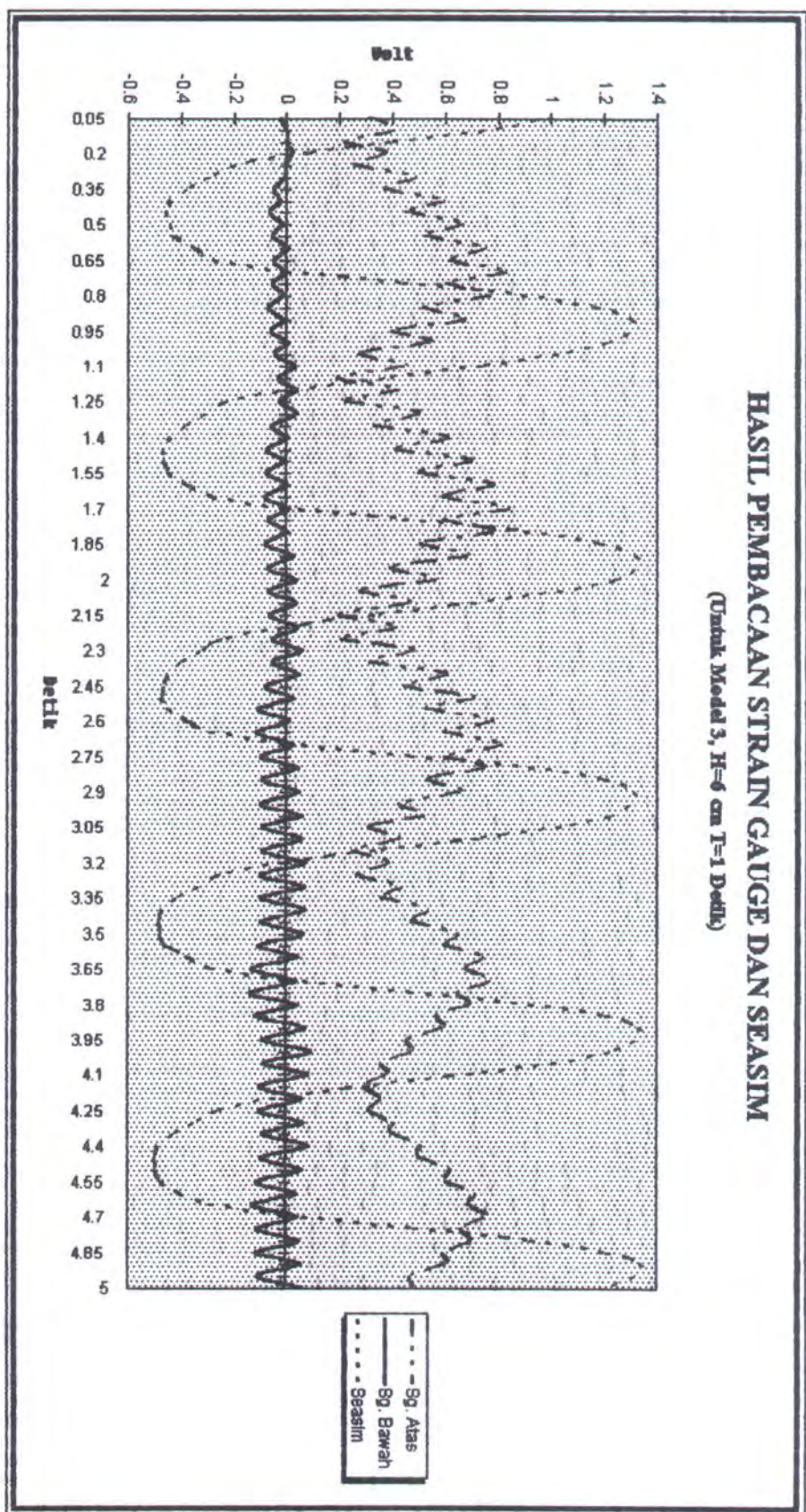
Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.2996	-0.02457	1.001
0.407	-0.00017	0.7422
0.2117	-0.00017	0.3906
0.3728	0.01933	0.0781
0.2458	-0.00997	-0.2002
0.4802	-0.00507	-0.293
0.363	-0.04897	-0.3809
0.5876	-0.02457	-0.4346
0.4412	-0.06857	-0.4639
0.6609	-0.01967	-0.4492
0.5144	-0.05387	-0.4443
0.7488	0.00473	-0.3613
0.6072	-0.04897	-0.2832
0.8269	-0.00507	-0.0098
0.5974	-0.05877	0.4346
0.7683	-0.01477	0.8838
0.5095	-0.07337	1.1621
0.6706	-0.01477	1.2988
0.3874	-0.06367	1.2891
0.5437	0.00473	1.2109
0.2654	-0.04407	1.0254
0.4412	0.02913	0.7373
0.1824	-0.03437	0.3662
0.4167	0.03403	0.0293
0.2185	-0.02947	-0.2246
0.4897	0.03403	-0.3076
0.324	-0.06367	-0.3906
0.6072	0.00473	-0.4395
0.407	-0.07827	-0.4736
0.6951	-0.00507	-0.4688
0.4949	-0.07827	-0.4541
0.783	0.00473	-0.3857
0.5828	-0.08317	-0.2881
0.8367	0.00963	-0.0244
0.5828	-0.07337	0.4395
0.783	0.00473	0.8936
0.4997	-0.08317	1.1768
0.6853	0.02423	1.3135
0.3826	-0.07337	1.3135
0.5632	0.03403	1.2354
0.2703	-0.07337	1.04
0.4607	0.03403	0.7178
0.1872	-0.06857	0.3271
0.4119	0.03893	-0.0146
0.197	-0.05877	-0.249
0.4753	0.05843	-0.3271
0.3093	-0.05387	-0.4053
0.6023	0.04863	-0.4492
0.4363	-0.08317	-0.4688
0.7048	0.02423	-0.4736
0.5193	-0.11247	-0.459

0.7732	0.00963	-0.3906
0.5925	-0.11737	-0.293
0.8074	0.02423	-0.0146
0.5876	-0.10267	0.459
0.7488	0.03893	0.9082
0.5242	-0.09297	1.1914
0.656	0.04863	1.3086
0.4167	-0.10267	1.2891
0.5193	0.05843	1.2207
0.3044	-0.09297	1.0352
0.4216	0.05843	0.7275
0.241	-0.09297	0.3369
0.3874	0.06823	-0.0098
0.2605	-0.09787	-0.2539
0.4314	0.06823	-0.332
0.3484	-0.09787	-0.4199
0.529	0.06823	-0.4688
0.4656	-0.09787	-0.4883
0.6413	0.06333	-0.4785
0.5876	-0.11247	-0.4688
0.739	0.04373	-0.3906
0.6706	-0.13197	-0.293
0.7683	0.03403	-0.0049
0.6365	-0.13687	0.459
0.6902	0.03893	0.9082
0.5583	-0.12227	1.1963
0.5925	0.06823	1.3232
0.4509	-0.09297	1.3184
0.4705	0.08773	1.2207
0.3484	-0.08807	1.0205
0.3777	0.07793	0.6982
0.2849	-0.10757	0.3125
0.3484	0.05843	-0.0391
0.2996	-0.10757	-0.2637
0.3923	0.06333	-0.3516
0.3874	-0.09297	-0.4297
0.4997	0.07793	-0.4883
0.49	-0.09787	-0.5029
0.6121	0.05843	-0.5029
0.5974	-0.11737	-0.4785
0.7097	0.03403	-0.4102
0.6804	-0.13197	-0.293
0.7488	0.03893	-0.0049
0.6511	-0.11737	0.4736
0.6951	0.04863	0.918
0.5828	-0.11737	1.2061
0.6023	0.05353	1.3281
0.4656	-0.11247	1.3184
0.4753	0.05843	1.2109



# HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM

(Untuk Model 3, H=6 cm T=1 Detik)



## Silinder Model 3

Data untuk H=8 cm T=1 detik

Jumlah data 100

Jumlah channel terpasang 3

Jumlah data perdetik 20

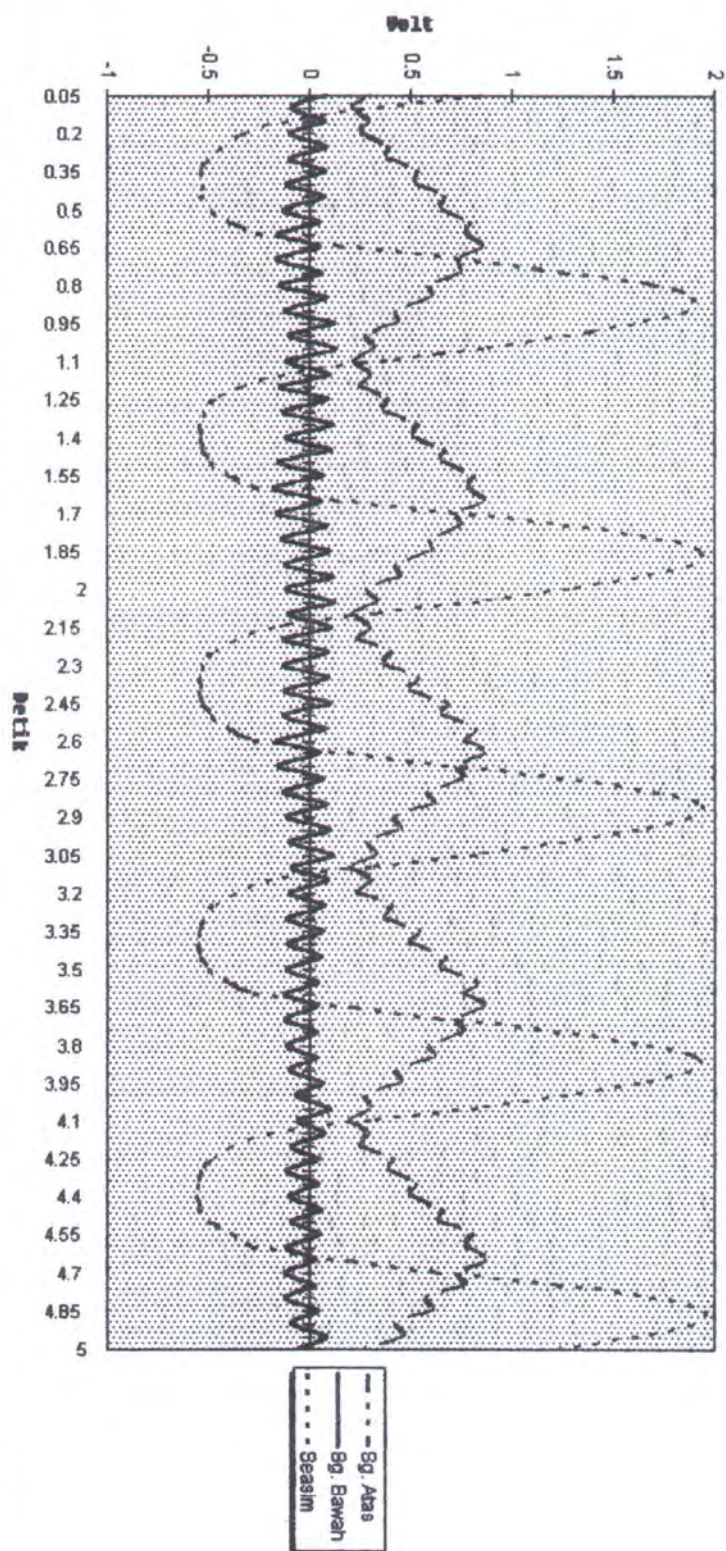
Sg. Atas (Volt)	Sg. Bawah (Volt)	Seasim (Volt)
0.2926	0.07905	0.8398
0.1998	-0.0919	0.3662
0.2828	0.0741	-0.1123
0.2486	-0.1016	-0.3174
0.3756	0.079	-0.4346
0.3707	-0.1065	-0.498
0.5172	0.0741	-0.5469
0.5123	-0.1163	-0.5322
0.6539	0.0741	-0.542
0.6441	-0.1358	-0.4932
0.7809	0.0497	-0.415
0.7613	-0.1554	-0.2734
0.8492	0.0448	0.1318
0.7223	-0.1651	0.7178
0.732	0.0595	1.25
0.5807	-0.1505	1.6895
0.5856	0.079	1.8848
0.4244	-0.1309	1.8652
0.4244	0.1181	1.6064
0.2731	-0.1016	1.2891
0.3072	0.1279	0.8545
0.2096	-0.1212	0.3809
0.2975	0.0937	-0.127
0.2389	-0.1505	-0.3369
0.3707	0.0888	-0.4688
0.3609	-0.1358	-0.5176
0.5172	0.1083	-0.5469
0.5025	-0.1163	-0.542
0.649	0.1034	-0.542
0.6441	-0.1602	-0.5029
0.8004	0.0644	-0.415
0.7662	-0.1846	-0.2832
0.8541	0.0546	0.1074
0.7076	-0.17	0.6934
0.7418	0.079	1.25
0.5856	-0.1407	1.709
0.5904	0.0937	1.9238
0.4098	-0.1309	1.8896
0.4342	0.1083	1.6211
0.2731	-0.1163	1.2793
0.3268	0.123	0.835
0.1998	-0.1114	0.3271
0.2926	0.1034	-0.1709
0.2242	-0.1358	-0.3613
0.3902	0.0888	-0.4785
0.3561	-0.1358	-0.5273
0.5221	0.0888	-0.5469
0.483	-0.1261	-0.5469
0.6637	0.0937	-0.542
0.6393	-0.1358	-0.4932
0.8102	0.0693	-0.4102



0.7565	-0.1651	-0.2881
0.8639	0.0448	0.0879
0.7027	-0.1602	0.6494
0.7516	0.0644	1.2158
0.5709	-0.1358	1.6943
0.6002	0.079	1.9287
0.4147	-0.1212	1.8848
0.4391	0.0937	1.6162
0.2682	-0.1016	1.2646
0.317	0.1083	0.8154
0.1803	-0.0919	0.2979
0.3024	0.0888	-0.1904
0.2193	-0.1065	-0.3662
0.4	0.0693	-0.4785
0.3609	-0.1212	-0.5322
0.5318	0.0644	-0.5469
0.483	-0.1114	-0.5518
0.6588	0.0595	-0.5469
0.6344	-0.1163	-0.5078
0.815	0.04	-0.4102
0.7516	-0.1309	-0.2881
0.859	0.0302	0.0928
0.7027	-0.1309	0.6299
0.7565	0.0302	1.2012
0.5807	-0.1212	1.6602
0.6002	0.0351	1.9092
0.4195	-0.1016	1.8799
0.4391	0.0644	1.626
0.2731	-0.0723	1.2696
0.2975	0.0937	0.8252
0.1803	-0.0626	0.3027
0.2877	0.0741	-0.1807
0.2389	-0.0919	-0.3809
0.4	0.04	-0.4834
0.3805	-0.1163	-0.542
0.5172	0.04	-0.5518
0.4879	-0.1016	-0.5615
0.6441	0.0546	-0.5469
0.6295	-0.0968	-0.5078
0.7955	0.0497	-0.4004
0.7613	-0.1212	-0.293
0.8736	0.0253	0.083
0.7174	-0.1261	0.6152
0.7613	0.0204	1.2109
0.566	-0.1309	1.6748
0.5953	0.04	1.9434
0.4098	-0.0968	1.8945
0.4537	0.079	1.6162
0.2633	-0.0626	1.2207

# HASIL PEMBACAAN STRAIN GAUGE DAN SEASIM

(Untuk Model 3, H=8 cm T=1 detik)





## LAMPIRAN B

HASIL ANALISA DENGAN MENGGUNAKAN NILAI RATA-RATA  
DARI DATA PERCOBAAN

Silinder	ATAS	BAWAH	GAYA ATAS	GAYA BAWAH	SEASIM (Volt)		SEASIM (cm)		H INPUT	H DI KOLAM
	(Volt)	(Volt)	(N/m)	(N/m)	POSITIF	NEGATIF	POSITIF	NEGATIF		
Bersih										
H=4 T=1	0.35672	-0.0864	13.9976928	-4.985788235	0.64755	-0.3169	1.2951	-1.07596	4	4.74212
H=5 T=1	0.357203	-0.0848	14.01664572	-4.890573529	0.764385	-0.538	1.52877	-1.07596	5	5.20946
H=6 T=1	0.36206	-0.0869	14.2072344	-5.01291	0.93594	-0.4081	1.87188	-0.81616	6	5.37608
H=8 T=1	0.362649	-0.087	14.23034676	-5.018680588	1.297198	-0.5301	2.5944	-1.06026	8	7.309312
Model 1										
H=4 T=1	0.3813	-0.0712	14.962212	-4.108658824	0.63089	-0.2809	1.26178	-0.5617	4	3.64696
H=5 T=1	0.3929	-0.0725	15.417396	-4.183676471	0.81494	-0.4533	1.62988	-0.9066	5	5.07296
H=6 T=1	0.397077	-0.0765	15.58130148	-4.412191765	0.971982	-0.364	1.94396	-0.72792	6	5.343768
H=8 T=1	0.39928	-0.0766	15.6677472	-4.417962353	1.273472	-0.3304	2.54694	-0.6608	8	6.415488
Model 2										
H=4 T=1	0.467725	-0.0571	18.353529	-3.293851765	0.530148	-0.3743	1.0603	-0.74856	4	3.617712
H=5 T=1	0.46923	-0.0597	18.4125852	-3.44331	0.744038	-0.3108	1.48808	-0.62168	5	4.219512
H=6 T=1	0.4778	-0.0586	18.748872	-3.381564706	0.933518	-0.3809	1.86704	-0.7617	6	5.257472
H=8 T=1	0.48253	-0.0598	18.9344772	-3.451388824	1.212894	-0.4565	2.42579	-0.9129	8	6.677376
Model 3										
H=4 T=1	0.498863	-0.0238	19.57538412	-1.375131176	0.487694	-0.2691	0.97539	-0.53828	4	3.027336
H=5 T=1	0.510904	-0.0241	20.04787296	-1.392442941	0.674132	-0.3029	1.34826	-0.60586	5	3.908248
H=6 T=1	0.51273	-0.0245	20.1195252	-1.413794118	0.904155	-0.3339	1.80831	-0.66776	6	4.95214
H=8 T=1	0.515842	-0.0251	20.24164008	-1.448417647	1.15244	-0.4336	2.30488	-0.8672	8	6.34416



# SILINDER BERSIH

H INPUT	H	Periode	Lambda	k	s1	s2	Kecepatan 1	Kecepatan 2	Percepatan	Fi. Atas	CM atas	KC	Rn -10.0E-6
0.04	0.0474	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.1491157	0.0026783	0.93820633	13.998	2.40036	1.68	0.01552
0.05	0.0521	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.1638845	0.0029435	1.03112836	14.01	2.18593	1.84	0.01706
0.06	0.0587	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.1846644	0.0033167	1.1618716	14.207	1.96723	2.08	0.01822
0.08	0.0731	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.2299654	0.0041304	1.44689639	14.32	1.59227	2.59	0.02394

## SILINDER MODEL I (2 mm)

H INPUT	H	Periode	Lambda	k	s1	s2	Kecepatan 1	Kecepatan 2	Percepatan 1	Fi. Atas	CM atas	KC	Rn -10.0E-6
0.04	0.0365	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.1148254	0.0020624	0.72245844	14.9622	3.05117	1.29	0.01222
0.05	0.0507	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.1595903	0.0028664	1.00411039	15.417	2.26205	1.8	0.01699
0.06	0.0534	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.1681097	0.0030194	1.05771246	15.5813	2.1703	1.89	0.01789
0.08	0.0642	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.2019669	0.0036275	1.27073523	15.6677	1.81649	2.27	0.0215

## SILINDER MODEL II (1 Cm)

H INPUT	H	Periode	Lambda	k	s1	s2	Kecepatan 1	Kecepatan 2	Percepatan 1	Fi. Atas	CM atas	KC	Rn -10.0E-6
0.04	0.0362	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.1138096	0.0020441	0.71606755	18.35	2.74752	1.28	0.01318
0.05	0.0422	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.132757	0.0023844	0.83528073	18.412	2.36335	1.49	0.01537
0.06	0.0515	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.1620139	0.0029099	1.01935922	18.74	1.97107	1.82	0.01876
0.08	0.0668	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.2100637	0.0037729	1.32167866	18.93	1.53562	2.36	0.02432

## SILINDER MODEL 3 (1.5 cm)

H INPUT	H	Periode	Lambda	k	s1	s2	Kecepatan 1	Kecepatan 2	Percepatan 1	Fi. Atas	CM atas	KC	Rn -10.0E-6
0.04	0.0303	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.095237	0.0017105	0.59921216	19.57	2.93739	1.07	0.01159
0.05	0.0391	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.1229496	0.0022083	0.77357446	20.044	2.33042	1.38	0.01496
0.06	0.0495	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.1557894	0.0027981	0.98019602	20.1195	1.8461	1.75	0.01895
0.08	0.0634	1	1.562	4.02	1.96	0.96	0.199581	0.0035847	1.25572393	20.2416	1.44978	2.25	0.02428

## LAMPIRAN C





Photo model kekasaran dengan ketebalan 2 mm

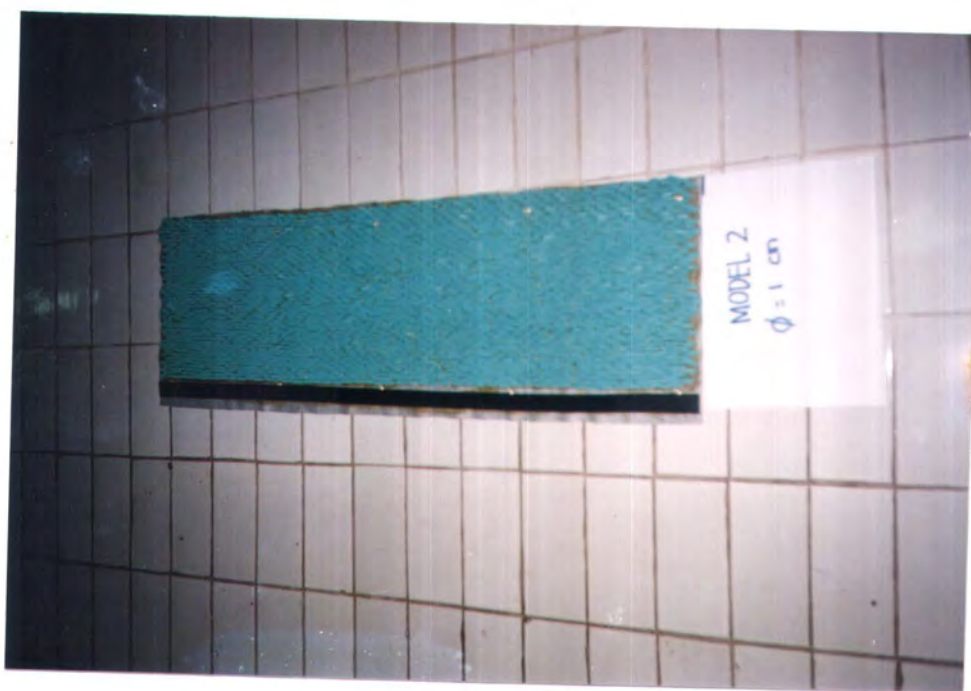


Photo model kekasaran dengan ketebalan 1 cm



Photo model kekasaran dengan ketebalan 1.5 cm

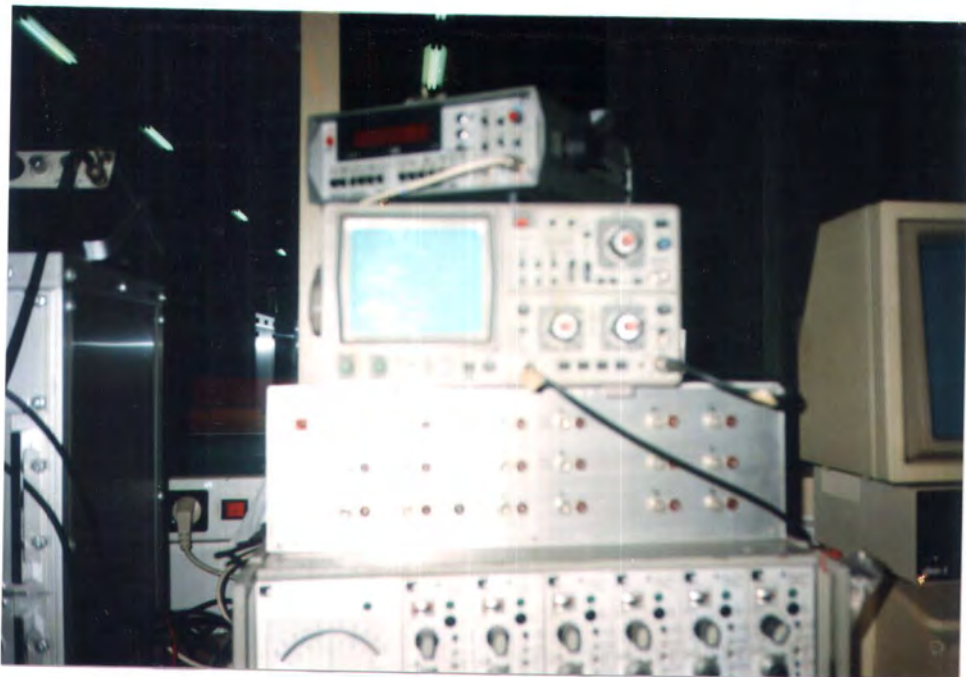


Photo Osiloskop, tempat melihat reaksi pipa uji terhadap gelombang



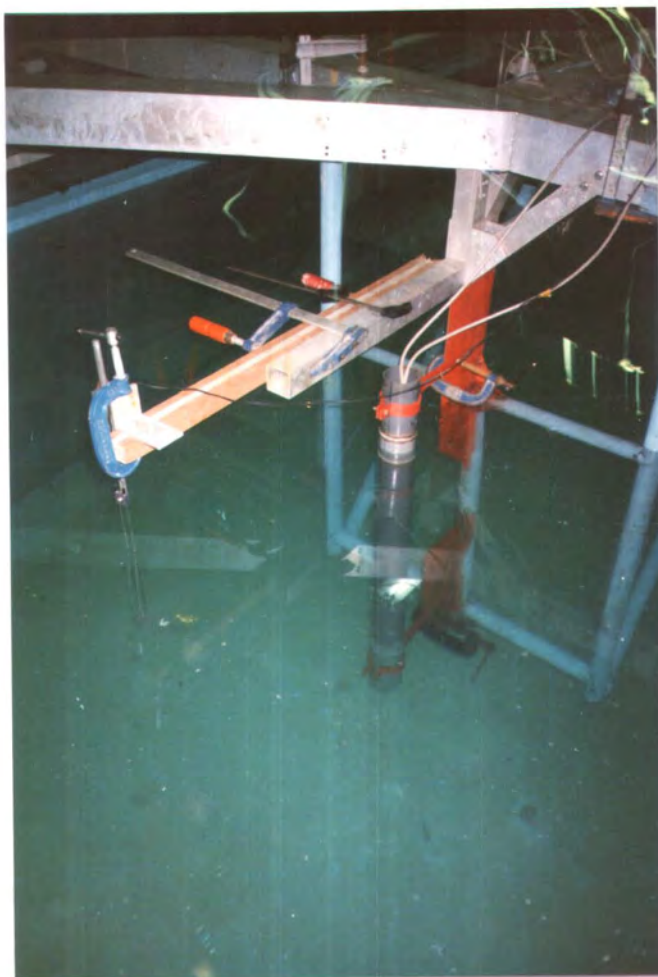


Photo pemasangan silinder bersih di kolam uji



Photo pemasangan model kekasaran pada pipa uji



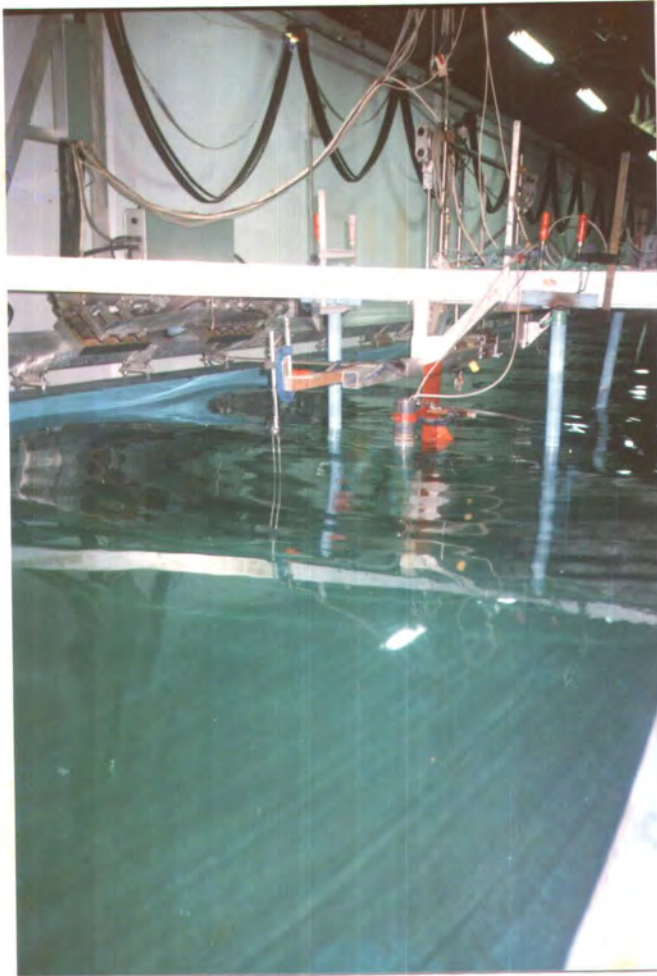


Photo pipa uji saat menerima beban gelombang



# FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

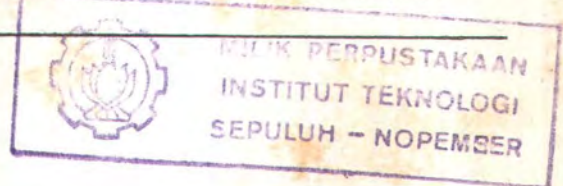
## PROGRAM STUDI TEKNIK LAUTAN

### TUGAS - AKHIR .

No. : 128 /PT12.H8.FTK.4/Q/95

MATA KULIAH : TUGAS AKHIR .....  
NOMOR MATA KULIAH : DE.1701.....  
NAMA MAHASISWA : Dadan Zaenudin.....  
NOMOR POKOK : 491.4300.224.....  
TANGGAL DIBERIKAN TUGAS : 13 Juli 1995.....  
TANGGAL SELESAI TUGAS : 13 Desember 1995.....  
DOSEN PEMBIMBING : Ir. Jusuf Sutomo, MSc.....  
Ir. Arief Soeroso, MSc.....

TEMA/URAIAN/DATA-DATA YANG DIBERIKAN :



JUDUL : " STUDI EKSPERIMENTAL MENGENAI PENGARUH  
KEKASARAN PERMUKAAN PIPA TERHADAP GAYA  
INERSIA AKIBAT BEBAN GELOMBANG "

SURABAYA, 13...Juli...1995.....

DIBUAT RANGKAP 4 :

1. Mahasiswa ybs.
2. Dekan
3. Dosen Pembimbing.
4. Arsip Kajur.



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS  
PROGRAM STUDI TEKNIK LAUTAN

Dr. B. Djatmiko, MSc.

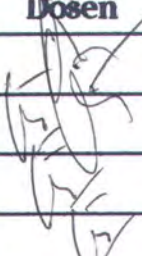
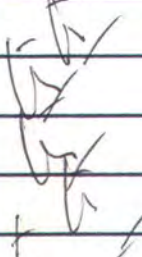
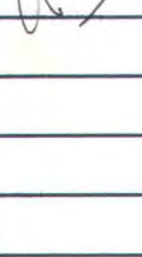
NIP. 131 407 592



Kampus ITS Keputih, Sukolilo , Surabaya

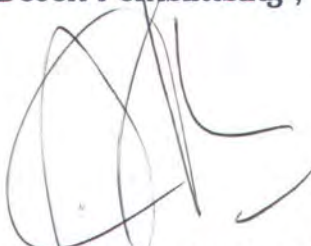
DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR

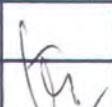
Nama : DADAN ZAEMUDIN  
Nrp. : 4914300224  
Judul TA. : STUDI EKSPERIMENTAL MENGENAI PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN  
PIPA TERHADAP GAYA INERSIA AKIBAT BEBAN GELOMBANG

Asist Ke :	Tanggal	Keterangan	Paraf Dosen
I	28/9 95.	Pendahuluan, Langkah 1 & 2 harus ditempuh dlm percobaan	
II	21/10 95.	Perhitungan secara teori	
III	7/11 95	Pemilihan teori gel yg cocok dan penentuan ukuran model	
IV	30/11 95	PERSIAPAN PERCOBAAN + PERLENGKAPANNYA	
V	3/1 96	BAB II, III, DATA DAN ANALISA HASIL PERCOBAAN	
VI	7/2 96	KOEFISIEN INERSIA DAN PERUBAHANNYA THD	
		KEKASARAN DAN ANGKA REYNOLD DAN KC	
VII	26/2 96	Kesimpulan dan saran	
VIII	8/3 96	SELESAI	

Catatan : Asistensi tambahan dapat dituliskan dihalaman belakang.

Surabaya, 8 Maret 1996  
Dosen Pembimbing ;

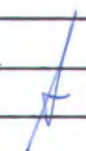
  
Ir. JUSUF SUTOMO, MSc

Rekomendasi	Paraf	Tanggal
Dibatalkan		
Perpanjangan		
Selesai/Siap diuji		8/3/96


## DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Nama : Dadan Zaenudin  
 NRP : 4914300224  
 Judul T.A. : Studi Eksperimental Mengenai Pengaruh Kekasaran  
 Permukaan Pipa Terhadap Gaya Inersia Akibat Beban  
 Gelombang.

Asistensi Ke	Tanggal	Keterangan	Paraf Dosen
I	27/9 . 95	Pengecekan thd kondisi tempat pengujian dan studi literatur.	
II	20/11 . 95	PERSIAPAN PERCOBAAN	
III	13/1 96.	HASIL : PERCOBAAN	
IV	27/2 96.	BAB IV, DAN HASIL LENGKAP PERCOBAAN	
V	8/3 96.	SELESAI	

Rekomendasi	Paraf	Tanggal
Dibatalkan		
Perpanjangan		
Selesai/Siap diuji		9/3/96

Surabaya, Maret 1996  
 Dosen Pembimbing

  
Ir. Arief Soeroso, M.Sc  
 NIP. 130.937 969



*Dan tiadalah sama (antara) dua laut, yang ini tawar, segar,  
sedap diminum dan yang lain asin lagi pahit.  
Dan dari masing-masing laut itu  
kamu dapat memakan daging yang segar  
dan kamu dapat mengeluarkan perhiasan  
yang dapat kamu memakainya  
dan pada masing-masingnya kamu lihat kapal-kapal berlayar  
membelahi laut supaya kamu dapat mencari karunia-Nya  
dan supaya kamu bersyukur.  
(Q.S. Faathir ayat 12)*